

BUTTIN Caroline

Projet de Fin d'Etude

CONCEPTION CARTOGRAPHIQUE

Etude de l'Histoire, des théories et
expérimentations cartographiques pour une
meilleure conception de la carte

Directeurs de recherche :

SERRHINI Kamal
PALKA Gaëtan

DA 5

2011 -2012

CONCEPTION CARTOGRAPHIQUE

Etude de l'Histoire, des théories et
expérimentations cartographiques pour une
meilleure conception de la carte

Directeurs de recherche :

SERRHINI Kamal

PALKA Gaëtan

DA 5

2011 -2012

BUTTIN Caroline

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ETUDES

EN GENIE DE L'AMENAGEMENT

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement mes tuteurs de projet, M. Kamal SERRHINI et M. Gaëtan PALKA pour leur aide, leur disponibilité et leurs précieux conseils prodigués tout au long de ce travail et sans lesquels ce mémoire n'aurait pu être réalisé.

NOTE PREALABLE

Cette recherche se base principalement sur des travaux et documents réalisés en anglais. Pour cette raison et afin de conserver le sens entier des propos des auteurs qu'une simple traduction en français ne pourrait que partiellement transmettre, certains mots ou expressions ont été conservés dans leur langue originale. Elles ont cependant pour la plupart des cas été expliquées en français dans la suite de l'étude ou font l'objet d'une définition dans le glossaire.

Sommaire

Avertissement	4
Formation par la recherche et projet de fin d'études	5
EN GENIE DE L'AMENAGEMENT	5
REMERCIEMENTS	6
Note préalable	7
Introduction	10
Partie 1 : Etude de l'Histoire cartographique : de l'art à la science de la cartographie	11
I. Avant 1950 : l'art de la cartographie	12
II. Depuis les années 50 : une approche beaucoup plus scientifique	12
III. Fin des années 60, années 70 : un modèle s'impose : le « communication model »	13
IV. Milieu des années 80 : déclin du modèle dominant	14
V. La cartographie aujourd'hui	14
VI. Conclusion	15
Partie 2 : Etude des modèles de compréhension graphique : des modèles globaux aux théories plus spécifiques	16
VII. Théories du modèle de communication	17
VIII. Le modèle computationnel de MARR	20
IX. Les modèles de Kosslyn et Pinker	22
X. La recherche en perception graphique	27
XI. Le caractère cyclique du processus de compréhension graphique	29
XII. Rôle de l'expérience et influence des connaissances dans la compréhension graphique.	30
XIII. Des modèles généralistes (Kosslyn, Pinker) trop simplistes ?	31
XIV. Conclusion de la partie	36

Partie 3 : étude pratique : Mise en place d'une méthode d'amélioration cartographique	37
XV. Une méthode selon 3 niveaux d'analyse cartographique.....	37
XVI. Mise en application de la méthode sur une carte des risques	43
XVII. Conclusion.....	48
Conclusion Générale	49
Glossaire	50
Bibliographie	52
Table des illustrations	55

INTRODUCTION

La cartographie est une discipline ancienne mais qui a fortement évolué avec le temps et les progrès techniques. De la simple carte descriptive existant depuis des siècles, à la carte d'aujourd'hui fonctionnelle, normalisée mettant en lumière des phénomènes sociaux, économiques ou environnementaux complexes, la vision tant au niveau de sa conception que de sa fonction a changé du tout au tout.

Même si l'efficacité d'une carte reste impossible à quantifier de part la subjectivité d'un tel exercice, la préoccupation de nombreux cartographes et chercheurs reste d'améliorer les conceptions cartographiques afin de rendre le décryptage de l'information plus aisée pour l'utilisateur.

L'amélioration cartographique dans la deuxième moitié du XXe siècle s'est traduite par la capacité à comprendre le processus de lecture et les mécanismes de perception¹/cognition² mis en jeu. Ainsi, l'analyse d'une carte peut s'effectuer à plusieurs niveaux : des plus bas niveaux de perception au plus haut niveaux se réfèrent à la cognition.

Pour cette recherche, trois niveaux d'étude seront abordés afin de trouver des éléments de réponse pour améliorer une carte : une étude historique, une étude théorique sur les modèles développés et les expérimentations menées et un niveau pratique dans lequel nous tenterons à notre échelle de déterminer des éléments clés pour l'amélioration cartographique.

Problématique :

De cette constatation, il est légitime de se demander quel est le niveau d'analyse le plus pertinent pour améliorer une carte ? Quels éléments chacun de ces niveaux peuvent-ils apporter dans cette démarche de perfectionnement cartographique ?

Hypothèse :

Le processus de compréhension cartographique est complexe mais il doit être compris si l'on désire concevoir de bonnes cartes. Nous supposons qu'une approche historique comme une approche théorique voire expérimentale nous apporterons, à chacune leur niveau, des éléments de réponses à notre problématique.

¹ Cf. Glossaire

² Cf. Glossaire

PARTIE 1 : ETUDE DE L'HISTOIRE CARTOGRAPHIQUE : DE L'ART A LA SCIENCE DE LA CARTOGRAPHIE

Le but de cette partie est d'établir un portrait de l'évolution de la cartographie et d'appréhender les changements majeurs des mentalités et de la conception dans ce domaine afin de trouver des éléments pertinents pouvant être pris en compte dans la conception cartographique. Car en effet, les théories et la pratique en cartographie ont beaucoup changé à travers le temps, surtout ces dernières décennies. (KITCHIN, PERKINS et DODGE, 2009)

« A map is, in its primary conception, a conventionalized picture of the Earth's pattern as seen from above » (RAISZ, 1938)

« La représentation graphique fait partie des systèmes de signes que l'homme a construits pour retenir, comprendre et communiquer les observations qui lui sont nécessaires ». (BERTIN, 1967)

« Cartography is about representation.[...]Exploring maps as a representation forges important links between cartography and a variety of cognate fields concerned with this topic in its various facets (including geographical information systems (GIS) and remote sensing, as well as art, cognitive science, sociology, cognitive and environmental psychology, semiotics, and even the history and philosophy of science). » (MAC EACHREN, p1, 1995)

« The map is the effective way to convey quantitative information quickly for many small areas. More importantly, maps permit the recognition of spatial pattern of statistics that are not readily identified in a table. » (HERMANN et PICKLE, 1996)

I. Avant 1950 : l'art de la cartographie

Depuis le Moyen Age jusqu'aux années 50 environ, les cartes sont une représentation fidèle de la réalité et illustrent les caractéristiques pertinentes de notre planète et leurs relations spatiales. La qualité de la carte sera jugée par son degré de ressemblance et de précision par rapport à la réalité : la carte garde un caractère objectif et montre la vérité. (KITCHIN, PERKINS et DODGE, 2009)

Ce besoin de cartes toujours plus précises correspond alors aux besoins des Hommes notamment en matière de navigation, pour les guerres ou encore pour délimiter les propriétés privées. (KITCHIN, PERKINS et DODGE, 2009)

La cartographie est alors vue plus comme un art qu'une science qui dépend avant tout du savoir faire et des connaissances du cartographe. (KITCHIN, PERKINS et DODGE, 2009 ; MONTELLO, 2002) Montello qualifie cette conception d'approche « artisanale » des cartographes qui ont développé par expérience des conventions au cours des siècles sur comment concevoir une carte. (MONTELLO, 2002)

Le seul degré d'amélioration possible est alors dans cette optique un gain de précision de la carte. (KITCHIN, PERKINS et DODGE, 2009)

II. Depuis les années 50 : une approche beaucoup plus scientifique

La seconde guerre mondiale a joué un rôle en cartographie : la nécessité d'avoir des cartes précises a multiplié les moyens accordés la recherche dans le domaine ce qui aboutit dans les années 50 à considérer la cartographie sous un nouvel angle : imposer la cartographie comme une science. (MAC EACHREN, p2, 1995)

Robinson avec la publication en 1952 de son ouvrage *The look of Maps* est le précurseur en suggérant de ne pas considérer la carte uniquement d'un point de vue artistique. Le but de son approche est alors d'établir des règles objectives de conception cartographique qui seraient alors systématiquement appliquées . L'utilisateur de la carte est pris en compte dans le processus de conception : la carte doit représenter des informations pertinentes de telle manière que l'utilisateur puissent les comprendre, les analyser et les interpréter. (BOARD et TAYLOR, 1976)

*The look of maps put forth the proposition that **the function of maps is to communicate to people**. This function depends on the visual appearance of maps, and this appearance, in turn, **depends on explicit and implicit decisions made by mapmakers**. So to understand and improve map function, cartographers need to understand the effects of design decisions on the minds of the map users.» (MONTELLO, 2002)*

La cartographie est alors vue sous un nouvel angle, se basant sur des principes établis par la psychologie expérimentale et l'esprit humain est considéré comme une machine de traitement de l'information. Une discipline apparaît la Cognitive map design research (la recherche en conception cartographique cognitive) qui essaie d'appréhender les processus de perception/cognition mis en jeu lors de la lecture d'une carte.

Il se dessine alors une idéologie de l'empirisme où le côté artistique de la carte est oublié. L'amélioration de la carte se démontre à travers l'expérimentation scientifique qui se penche notamment sur comment représenter les lieux et comment les symboliser. Des méthodes issues de la psychophysique sont appliquées en cognitive map design. La psychophysique est une sous-discipline de la psychologie expérimentale qui étudie la réaction à un stimulus. Une expérience de Robinson a par exemple été de repérer les limitations de la perception humaine en identifiant « the least practical difference » (la plus petite différence notable par l'œil humain). (MAC EACHREN, p2, 1995).

III. Fin des années 60, années 70 : un modèle s'impose : le « communication model »

A la fin des années 60, suite aux recherches de Robinson, un courant de pensées tend à s'imposer en cartographie interprétant la carte comme un procédé communication graphique. La carte a un but prédéfini lors de la conception et transmet un message bien précis à l'utilisateur. Les cartes servent de véhicule à la communication , elles sont des canaux qui transmettent l'information d'une source (le monde) à un récepteur (le lecteur). (MAC EACHREN, p2, 1995 ; MONTELLO, 2002 ; BOARD et TAYLOR, 1976)

Le modèle de communication sera plus amplement étudié dans la partie deux lors de l'étude des théories de la compréhension graphique.

Parallèlement, en France, la théorie de la sémiologie graphique³ de Bertin (1967) va également avoir un fort impact pour la cartographie. Cette dernière ne constitue pas une théorie cognitive mais plutôt un guide pour la conception cartographique basé sur les idées de consonance entre les caractéristiques des données et celles des symboles. (BERTIN, 1967 ; MONTELLO, 2002)

³ cf. Glossaire

IV. Milieu des années 80 : déclin du modèle dominant

Les années 80 marquèrent l'essoufflement du modèle de communication . Une des raisons de ce déclin relève de l'absence de résultats concrets sur comment améliorer une carte. En effet, des recherches empiriques basées sur les mouvements oculaires (« eye tracking ») n'ont notamment pas trouvé d'applications directes pour la production de carte. De plus les résultats empiriques semblent être incohérents et dépendant d'un contexte spécifique. Une critique dénonce également une recherche trop souvent basée les bas niveaux de perception (détection des formes et la perception de la taille) et pas assez sur les hauts niveaux de cognition (raisonnement, déduction) qui supposent de considérer les relations à l'intérieur de la carte et non uniquement des symboles isolés. (MONTELLO, 2002)

Par ailleurs, la montée en puissance de l'informatique (la « révolution numérique) et notamment la SIG ainsi que le meilleur accès aux données, la capacité de stockage de celles-ci, la manipulation de la carte par ordinateur qui permet la séparation de l'acte de conception et d'impression sont autant de facteurs qui ont permis la démocratisation de la carte.

En effet, ces nouvelles technologies en offrant plus de richesse, de flexibilité à la carte ont ouvert le domaine aux industriels, gouvernements et ont permis de populariser les cartes auprès d'un plus large public. La carte est devenue un outil organisationnel, un mode d'analyse et un outil visuel possédant un grand pouvoir de persuasion qui est facile à manipuler et à diffuser. L'utilisateur peut aujourd'hui être concepteur. Ce phénomène s'est également amplifié grâce à Internet qui permet un partage et une diffusion de l'information cartographique à faible coût. (KITCHIN, PERKINS et DODGE, 2009)

V. La cartographie aujourd'hui

Les études d'aujourd'hui ne remettent plus en cause le fait que la carte est plus qu'un véhicule pour communiquer un message.

« Maps are active; they actively construct knowledge, they exercise power and they can be a powerful means of promoting social change. » (CRAMPTON, 2006)

Le lecteur reste une des clés pour donner un sens à la carte. Et le contexte culturel et sociologique semble avoir un rôle dans l'interprétation cartographique. Des recherches ont notamment montré que les hommes et les femmes ont une façon différente de lire une cartes . De même un américain et un chinois parce qu'ils n'ont pas la même culture ni le même apprentissage cartographique auront des mouvements oculaires différents et une narration de la carte distincte. (FOSTIADIS, 2009) Une carte doit donc être adaptée à son destinataire si l'on souhaite qu'elle soit correctement interprétée. (GRAZIANO, 2008 ; PALKA, 2010)

La cartographie est reconnue comme une science ou un processus de raisonnement socio-scientifique (SHAH et HOEFFNER, 2002) mais bien plus encore. Au delà des recherches académiques est apparue la cartographie critique (« critical cartography »), un mouvement protestant contre la version traditionnelle et scientifique de la cartographie. Un courant de recherche plus théorique s'est ainsi penché sur l'intérêt social de la cartographie, son éthique ou encore du pouvoir détenu par les cartes. D'un autre côté, des mouvements plus expérimentaux examinent le développement du libre-accès et de l'omniprésence des cartes. La cartographie n'appartient plus aux experts : elle est aux artistes, à l'étudiant qui veut créer sa carte, à tout le monde. (CRAMPTON, 2006)

VI. Conclusion

Le domaine de la cartographie a beaucoup évolué ces dernières décennies. Après avoir été un art dédié à la retranscription précise du relief terrestre, la cartographie s'est vue brutalement rationalisée après son affirmation en tant que science dans les années 50. Cependant aujourd'hui la suprématie de l'expérimentation scientifique académique semble être remise en cause grâce à l'ouverture de la discipline au monde. L'utilisateur est devenu créateur de ses propres cartes grâce aux développements technologiques du numérique et d'Internet.

Il est important de comprendre qu'une carte s'inscrit dans un contexte social et culturel au sein d'une société qui comporte ses codes de lecture et son mode d'apprentissage. De plus, la carte n'est pas objective : elle est imbue d'informations subjectives transmises par le cartographe.

Par conséquent, la carte doit être un outil adapté et adaptable selon son utilisation. Le destinataire est un paramètre essentiel et doit être considéré dans son contexte et par rapport à son niveau de connaissance afin que l'interprétation de la carte soit optimisée.

PARTIE 2 : ETUDE DES MODELES DE COMPREHENSION GRAPHIQUE : DES MODELES GLOBAUX AUX THEORIES PLUS SPECIFIQUES.

Le but de cette partie est de donner un aperçu des théories plus ou moins globales développées et des modèles qui s'y rapportent en matière de compréhension graphique. L'étude suivante n'a pas la prétention de couvrir toutes les théories et expérimentations menées sur le sujet mais plutôt de donner la trame globale du type de travaux entrepris depuis la deuxième moitié du XXe siècle.

Car comme nous avons pu le voir précédemment, le domaine de la cartographie et plus généralement de la compréhension graphique (par graphique nous entendons tableau, histogramme, courbe, carte...) a beaucoup évolué. La conception graphique n'est plus centrée sur le concepteur mais sur le destinataire et l'on cherche à savoir comment le processus de lecture et de compréhension du graphique s'effectue. Les théories de compréhension graphique expliquent alors les processus de perception et de cognition requis pour extraire une information spécifique d'un graphique. (RATWANI, BOEHM-DAVIS et TRAFTON, 2007)

« To produce functional maps, we need to know something about what our visual-cognitive system is design to do and what it is not designed to do, about the process by which vision and cognition allow us to derive meaning from visual scenes, and about the representations that are created at various stages of the process ». (MAC EACHREN, p25, 1995)

« In determining the information to be communicated to the geographer using maps, the use to which maps will be put is a first consideration. Ways in which maps are read by geographers are crucial determinants of the effectiveness of such maps. In particular, realistic map-reading tasks should be used in experimental evaluations. » (BOARD et TAYLOR, 1976)

VII. Théories du modèle de communication

Après les années 50 et l'affirmation de la cartographie en tant que discipline, un premier courant de pensées est apparu à la fin des années 60 : le « communication model » (modèle de communication). (MONTELLO, 2002) Ce modèle dépeint une théorie générale qui décrit et explique la cartographie. Les cartes sont alors perçues comme un véhicule pour communiquer des informations géographiques. (BOARD et TAYLOR, 1976)

« Communication came to be viewed as the primary function of cartography and the map was considered the vehicle for that communication. » (MAC EACHREN, p4, 1995)

Le caractère global de ce type de modèle réside dans le fait que l'intégralité du processus de production de la carte par le cartographe et de compréhension par l'utilisateur ainsi que leur appréhension de la réalité est prise en compte.

La conception de la cartographie en tant que processus de communication a été étudiée par de nombreux auteurs parmi lesquels Board (1967, 1981), Koláčný (1969), Robinson and Petchenik (1976), Mac Eachren (1979) et Taylor (1983). Ainsi, plusieurs types de modèles plus ou moins complexes ont vu le jour sous forme de diagrammes. Cependant tous partagent une structure commune : une source d'information (la réalité) exploitée par le cartographe qui détermine ce qu'il doit représenter et comment, la carte comme point central du processus et l'utilisateur qui lit cette dernière et comprend un certain nombre d'information en confrontant les informations de la carte à des connaissances existantes.

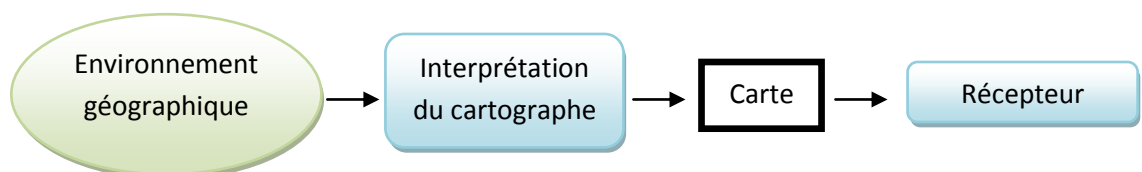


Figure 1 : Schéma général du modèle de communication (MAC EACHREN, p4, 1995)

A titre d'exemple, nous allons détailler le modèle de Koláčný établi à la fin des années 60. Le modèle de communication ne peut pas dans son intégralité être considéré comme un modèle cognitif. Ainsi, le modèle de Koláčný a été retenu car l'auteur même s'il n'étudie pas précisément les processus cognitifs mis en jeu, reconnaît leur existence en cartographie. (MONTELLO, 2002)

• Le modèle de Koláčný (1969)

En établissant son modèle basé sur la communication graphique, Koláčný réaffirme le besoin de considérer le destinataire et que ce dernier doit être pris en compte par le concepteur de la carte. La carte doit satisfaire les besoins et les intérêts de l'utilisateur. Ainsi, son niveau de connaissance, ses capacités, ses méthodes de travail et les conditions environnementales dans lesquelles elle sera utilisée doivent être pris en compte.

« *Cartography, derived from the needs of Man's life, is meant to be to his advantage. Therefore both the making and the utilization of maps, which have been closely interconnected from the very beginning of their joint history, should be of equal interest to the cartographer.* » (Koláčný, 1969)

Son modèle tente donc de mettre en lumière les connections entre les étapes de construction et d'utilisation de la carte et de les réunir dans un seul processus global.

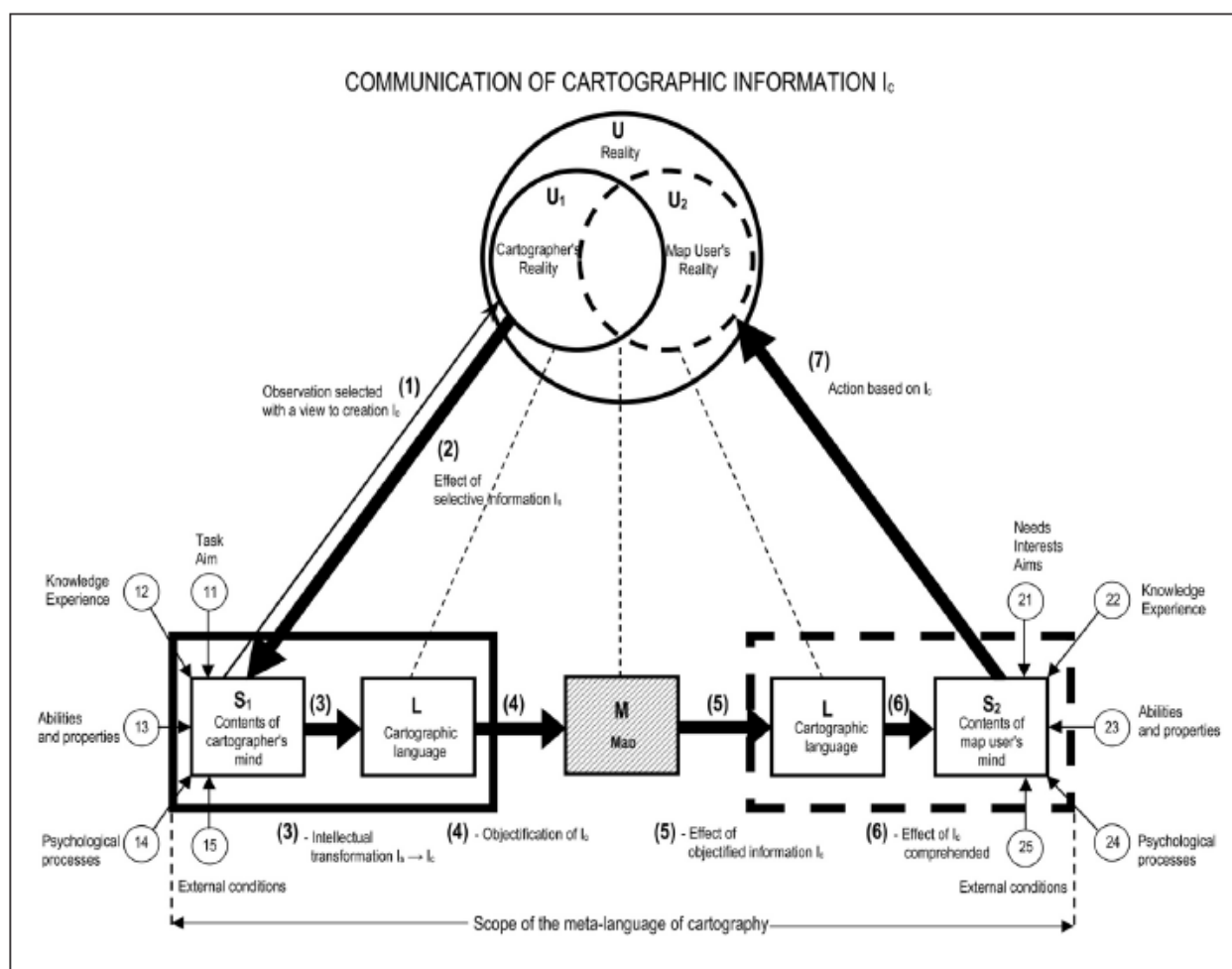


Figure 2 : Le modèle de Koláčný (KOLACNY, 1969)

Selon Koláčný, 7 facteurs agissent dans le processus de communication d'information cartographique (cf. diagramme ci-dessus):

- U1 : la réalité vue par le créateur de la carte
- S1 : la réalité subjective représentée par le cartographe
- L : le langage cartographique : un système de symboles et de règles
- M : le produit cartographique : la carte
- S2 : l'utilisateur de la carte
- U2 : la réalité vue par l'utilisateur
- Ic : l'information cartographique

La création et la communication d'informations cartographiques font appel à des processus complexes d'opérations et d'activités comprenant des circuits en feedbacks et plusieurs niveaux de traitements. Nous pouvons néanmoins simplifier ce processus en 7 étapes (cf. diagramme ci-dessus) :

- Observation sélective de la réalité : le cartographe qui possède des connaissances et des capacités spécifiques observe la réalité avec une intention et un but
- De la réalité, le concepteur reçoit une information appelée « selective information » Is qui est un modèle intellectuel multidimensionnel.
- En utilisant le langage cartographique, le concepteur transforme mentalement cette information sélective en information cartographique Ic.
- L'information cartographique est objectivée sous la forme d'une carte en utilisant la symbolisation afin de la rendre perceptible par les sens humains.
- Avec sa propre conception de la réalité (U2), l'utilisateur lit et décrypte la carte. Cela aura un impact sur sa perception de la réalité selon U1 du concepteur.
- L'information cartographique Ic est comprise : l'utilisateur crée dans son esprit un nouveau modèle de la réalité.
- L'information cartographique enrichie les connaissances et l'expérience de l'utilisateur : sa conception de la réalité U2 s'est élargie.

Ainsi, le modèle de Koláčný dresse un portrait des étapes depuis la construction (étapes 1 à 4) jusqu'à la lecture de la carte (étapes 4 à 7). Ce modèle ne peut être considéré comme cognitif car même si l'auteur reconnaît clairement l'aspect cognitif de certaines étapes notamment celles de transformations de l'information (étapes 3 et 6), il ne se penche pas plus en détail sur les processus cognitifs mis en jeu.

Le modèle de communication semble donc effleurer uniquement les processus des bas niveaux de perception. De plus, les recherches sur le processus de lecture de carte éprouvent des difficultés à établir une base théorique ferme et rencontrent des problèmes pour les lier au processus de niveau élevé. A ce niveau, et même aujourd'hui, la vision humaine et la cognition visuelle restent incomplètement compris.

L'idée dominante aujourd'hui reste que la vision est un système de traitement de l'information où cette dernière est construite à partir d'input sensoriels. (MAC EACHREN, p22, 1995) Ce système de traitement de l'information, rejoint les

théories computationnelles de la vision pour lesquelles David Marr (1982) a effectué un travail fondamental aboutissant à un premier modèle de compréhension graphique en tant que système de traitement de l'information. Pour notre étude, nous nous concentrerons donc sur cette approche de la vision.

VIII. Le modèle computationnel de MARR

Comme nous l'avons dit précédemment, Marr envisage la vision comme un processus computationnel. Un processus computationnel dérivant du mot anglais « computeur » signifie un processus de traitement identique à celui d'un ordinateur, c'est-à-dire de manière logico-algébrique. Ainsi, une des forces de ce modèle est que le processus peut être découpé en plusieurs étapes distinctes et relativement indépendantes qui permettent ainsi de tester certaines d'entre elles expérimentalement. (POGGIO, 1981)

Dans son approche de la vision, Marr détermine 3 niveaux de compréhension : « computational theory » durant laquelle nous décrivons ce que doit faire un processus et pourquoi, « specific algorithms » qui correspond à comment la théorie peut être appliquée et « physical implementation » qui considère comment une représentation particulière peut être appliquée dans le système. (GLENNERSTER, 2002 ; POGGIO, 1981 ; MAC EACHREN, 1995)

Chaque niveau peut être considéré indépendamment des autres même si une frontière relativement lâche existe entre eux et qu'une explication ne peut pas être complète sans avoir couvert les trois niveaux. C'est l'affirmation du premier niveau the « computational theory » qui aura le plus d'impact pour les futures recherches en cognition car en effet « *If we recognize that, logically, our nervous system evolved to meet certain needs, rather than that our perceptual process evolved to make use of fixed predetermined neurological hardware, it becomes clear that understanding what vision is for is more important than understanding the neurophysiological mechanism by which it works.* » (MAC EACHREN, p27, 1995) En d'autres mots, si c'est notre système nerveux qui s'adapte pour répondre à certains besoins plutôt que notre système de perception pour correspondre à des schémas prédéfinis, la clé n'est plus de connaître les mécanismes neurophysiologiques mais de comprendre le fonctionnement à un niveau plus élevé : le niveau cognitif.

Marr a également émis des hypothèses quant aux différentes étapes du traitement visuel impliquant différents types de représentation (POGGIO, 1981 ; MAC EACHREN, 1995):

- The « retinal image » est une représentation des différents niveaux d'intensité
- A « primal sketch » permet de rendre l'image rétinienne explicite. La présence de bords, de formes floues sont appréhendées.

- A « 2 ½-D sketch » est une représentation centrée sur l'utilisateur de la carte. Ce dernier apprécie alors sa distance par rapport à la carte ainsi que son orientation et des propriétés des surfaces telles que les contours, la profondeur.
- A « 3-D model representation » centrée sur l'objet visionné aboutit à une représentation en trois dimensions structurée où les différents objets sont reconnus.

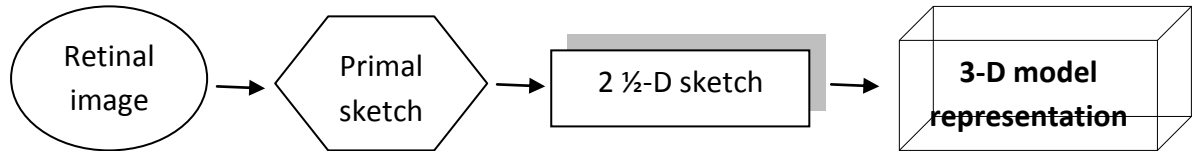


Figure 3 : Modèle de Marr (MC EACHREN, p29, 1995)

Ce modèle peut être considéré comme hiérarchique : chaque représentation de chaque niveau apporte des propriétés visuelles supplémentaires venant affiner la perception que nous avons de l'image. C'est un système modulaire qui permet de reconnaître un objet comme appartenant à une certaine classe (ex : un oiseau) même si nous ne pouvons reconnaître cet individu en particulier (que cet oiseau est un canard). (MAC EACHREN, p31, 2005)

L'établissement de ce modèle a été le point de départ de nombreuses recherches et notamment un élément fort pour la recherche en cognition visuelle. En effet, le modèle de Marr illustre la mise en jeu de différents processus et différentes représentations dans les stages de la vision. Ces conclusions ont servi de base pour l'établissement de nouveaux modèles axés sur les processus cognitifs impliqués dans la compréhension graphique. Pour la suite de notre étude, nous nous pencherons donc sur ce type de modèles dont les deux plus connus sont les modèles de Kosslyn (KOSSLYN, 1989) et Pinker (PINKER, 1990).

IX. Les modèles de Kosslyn et Pinker

Ces deux modèles retracent les grandes étapes dont les processus cognitifs impliqués dans la compréhension graphique. Les modèles de Kosslyn et Pinker ont été pensés à des époques identiques donc à niveau de connaissances égaux et ont donc beaucoup en commun. Nous pouvons cependant déjà noter que Kosslyn se tourne davantage vers l'architecture du système cognitif alors que Pinker raisonne davantage en terme d'étapes du traitement de l'information. (LELE, 2009)

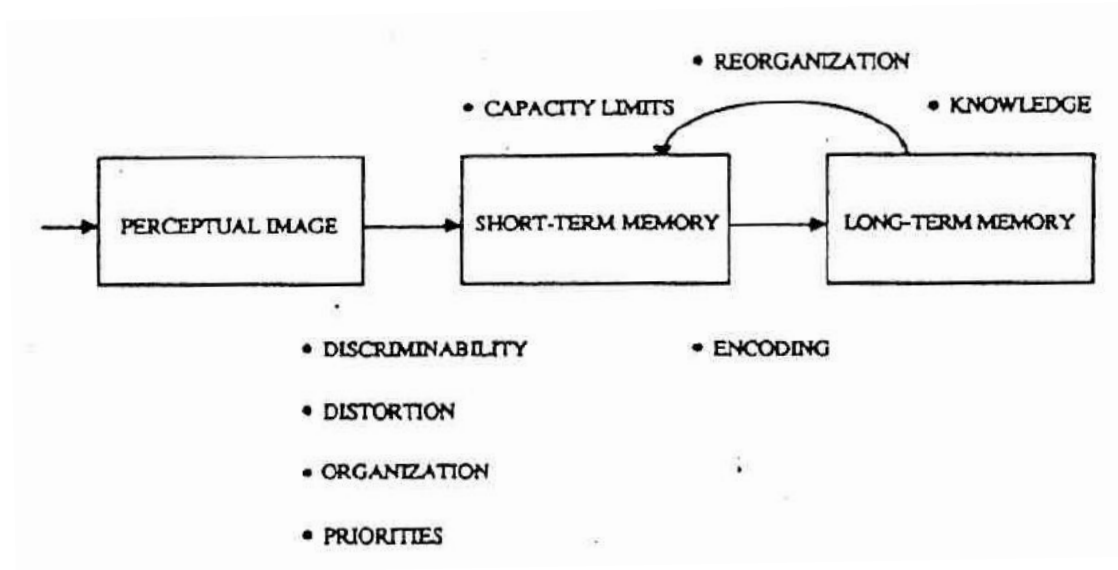


Figure 4 : Modèle de Kosslyn (KOSSLYN, 1989)

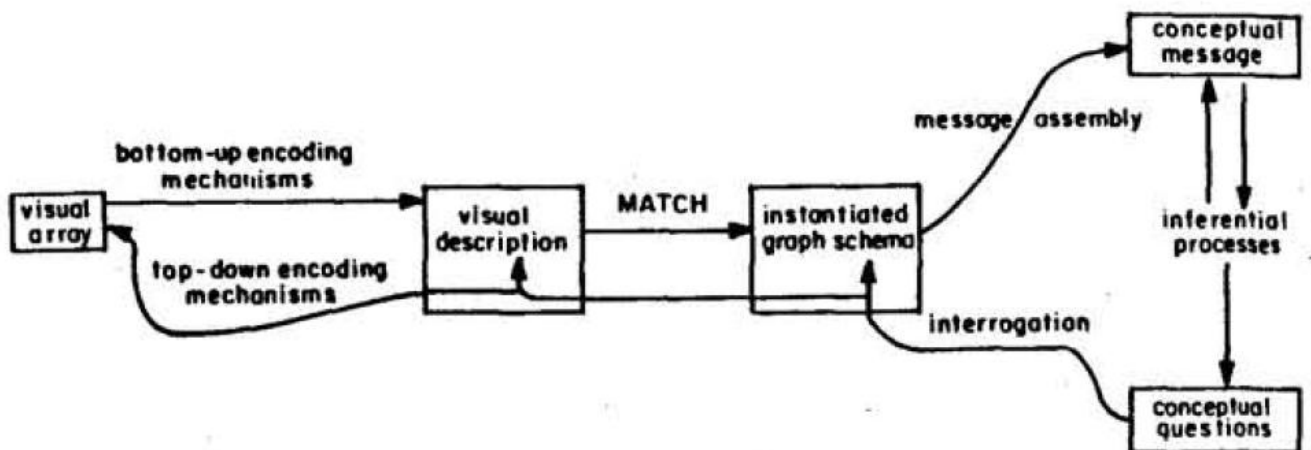


Figure 5 : Modèle de Pinker (PINKER, 1990)

La première étape de ce processus pour les deux modèles est la formation d'une représentation interne à partir de la réalité. Pour Kosslyn, cette représentation appelée « perceptual image » est plus conçue comme une représentation spatiale (la forme des objets) alors que Pinker envisage sa « visual description » en tant que représentation symbolique plus abstraite (un objet est décrit comme un ligne verticale, une courbe convexe...). (KOSSLYN, 1989 ; PINKER, 1990 ; LELE, 2009)

Pinker se penche davantage sur la formation de sa « visual description » en concevant une représentation intermédiaire, la « visual array », qui est une « image brute » de la réalité que la rétine transmet au cerveau. Cette dernière découle du « primal sketch » et du « 2 1/2 - D représentation » de Marr.

La « visual description » constitue alors l'output du mécanisme de la perception visuelle. Dans cette représentation, les différents aspects de la représentation tels que les différents éléments, leur taille, leur forme, leur couleur, leur localisation etc., sont séparés en différents symboles. Elle est une description structurée du graphique où les « predicates » spécifient les propriétés et les relations entre les différents symboles. (PINKER, 1990)

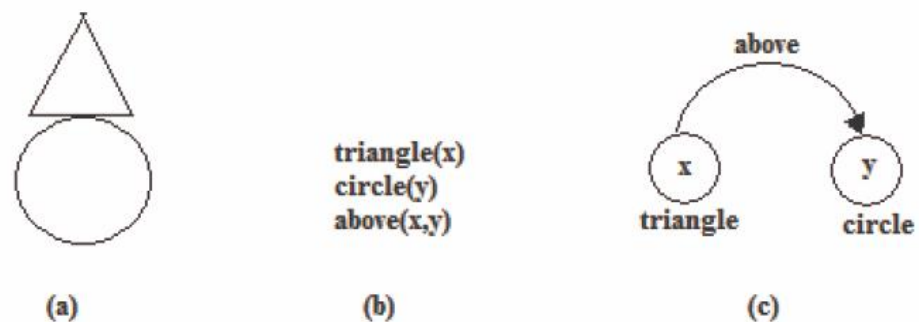


Figure 6 : La "visual array", la "visual description" et sa représentation graphique de Pinker (PINKER, 1990)

Le schéma ci-dessus nous montre les différents niveaux de représentation de Pinker. La partie (a) constitue la « visual array » qui sera interprétée en (b) « visual description » à l'aide de « predicates » qui spécifie la nature de l'objet (x est un triangle ; y est un cercle) et leur relation (x au-dessus de y). La troisième partie (c) représente l'équivalent graphique retenu par Pinker afin de représenter les « visual descriptions ». (PINKER, 1990)

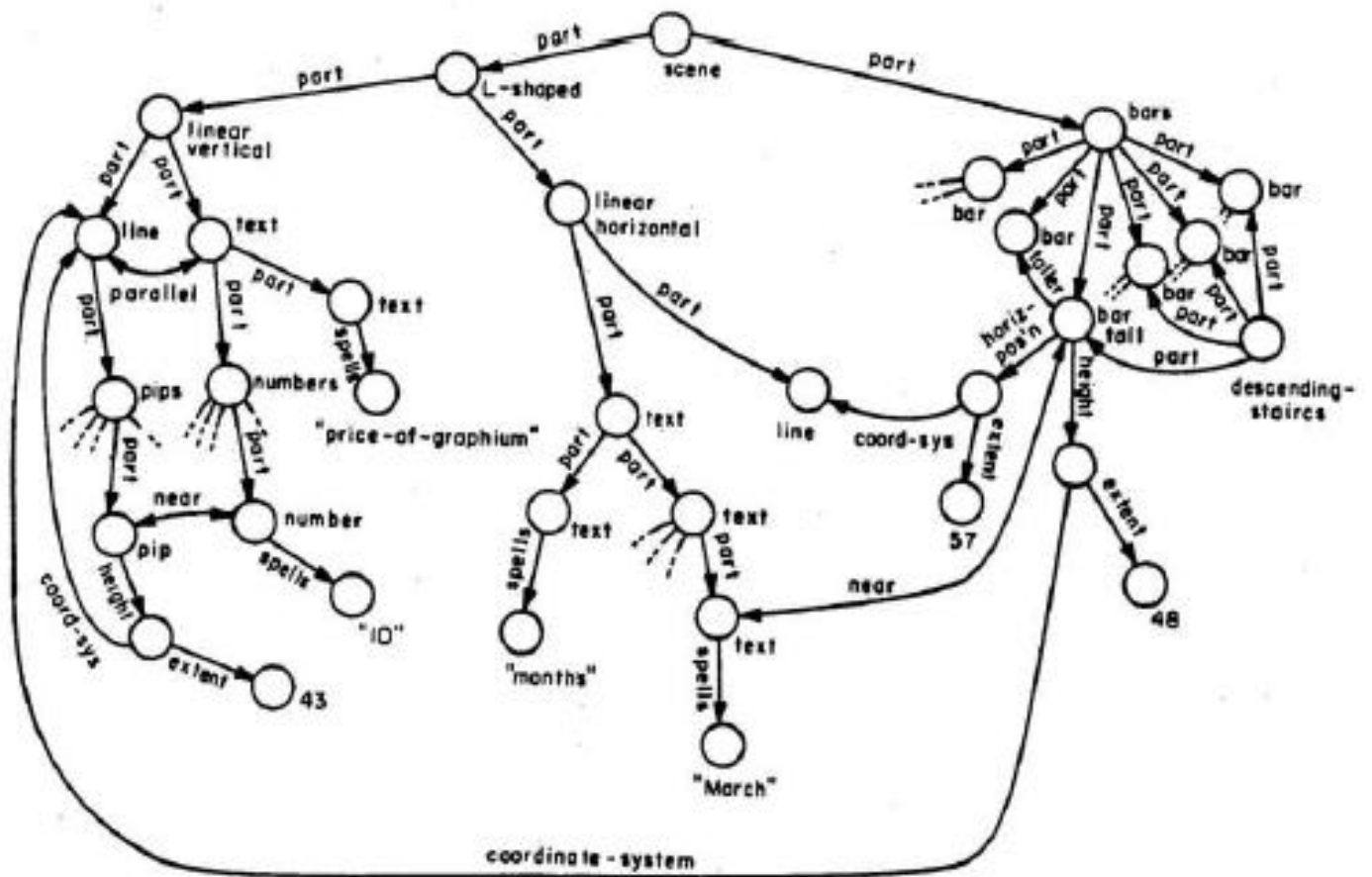
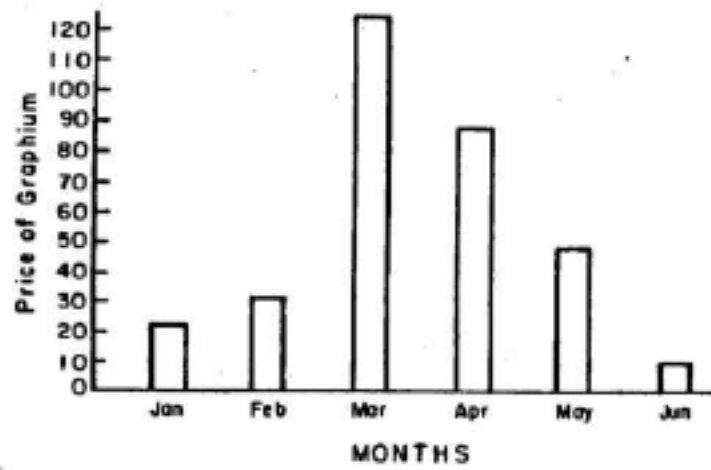


Figure 7 : Un histogramme et sa "visual description" (PINKER, 1990)

Ce processus permettant d'établir une représentation interne implique des lois et des contraintes de la perception telles que les lois de Gestalt (BELBIN, 1996), la contrainte de la distorsion et la contrainte de discriminabilité. (KOSSLYN, 1989 ; PINKER, 1990)

Cette construction de la représentation interne constitue un processus bottom-up (du bas vers le haut, de la forme perçue à la représentation globale cohérente). Cependant, l'étape suivante du processus viendra mettre en œuvre un processus bottom-up en faisant appel à des connaissances stockées dans la mémoire à long terme (MLT ou « long term memory » de Kosslyn) d'un individu.

Pour Pinker, ces connaissances sont conservées dans la MLT sous forme de « schemas⁴ ». Un « schema » constitue un savoir dans un domaine donné et consiste en une description contenant des « blancs » (informations manquantes laissées en suspend) ou des paramètres inconnus qui sont complétés par des valeurs réelles lors d'une situation concrète. Par exemple, le « schema » d'un numéro de sécurité sociale sera le suivant :

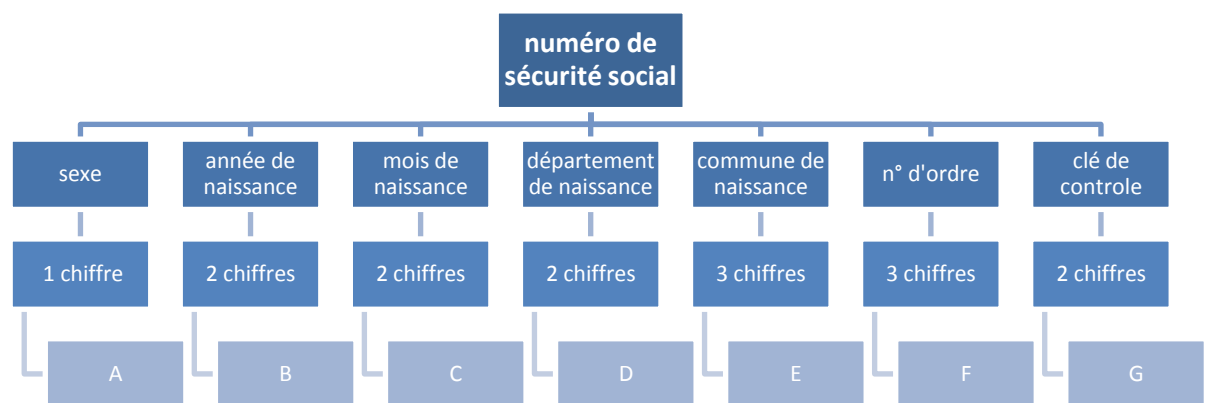


Figure 8 : "Schema" d'un numéro de sécurité sociale

Ainsi le « schema » d'un numéro de sécurité sociale consistera à retenir sa structure 1 chiffre/2 chiffres/2 chiffres/2 chiffres/3chiffres/ 3chiffres/2 chiffres. Une personne pourra reconstituer son numéro de sécurité sociale en complétant les paramètres A à G par les valeurs numériques correspondantes. Mais une autre manière d'utiliser les « schemas » est de reconnaître une suite de numéro en tant que numéro de sécurité sociale en faisant correspondre la structure connue du « schema » avec la suite de numéro perçue dans la « visual description ». Ainsi lorsqu'un « schema » correspond à une « visual description » certaines connaissances liées au « schema » sont associées aux paramètres spécifiques de la « visual description » et complètent ainsi cette dernière. Cependant, tous les paramètres ne sont pas remplacés pour des raisons de limitations de la mémoire de travail (MDT ou short term memory » de Kosslyn) et de capacité de traitement de l'information. En effet,

⁴ Cf. Glossaire

un paramètre ne sera complété uniquement lorsqu'un « message flag » sera rencontré dans le « schema » au moment où l'information devient nécessaire.

L'output de cette observation sera ce que Pinker appelle des « conceptual messages ». Les « conceptual messages » sont les informations dont un individu se souvient suite à l'observation du graphique : elles constituent les informations qu'un individu extrait. Ces « conceptual messages » seront alors confrontés aux « conceptual questions » qui sont les interrogations auxquelles l'individu souhaite répondre à partir du graphique. Si les « conceptual messages » ne peuvent pas répondre à la « conceptual question », un nouveau « message flag » se déclenche dans le « schema » afin de relancer le processus dans le but d'enrichir le « conceptual message » d'une nouvelle information qui elle pourra répondre à l'actuelle question.

• Conclusion

Pour conclure sur ces deux modèles, nous pouvons dire que ces derniers constituent une description générale du processus de compréhension graphique en mettant en avant son caractère cognitif. Le modèle de Pinker constitue une référence mais ce dernier reconnaît lui-même que des incompréhensions peuvent demeurer car la discipline reste dépendante des connaissances des mécanismes de perception et cognition.

« Thus, any theory of graph comprehension will draw heavily on general cognitive and perceptual mechanisms is sketchy, we can expect corresponding gaps in our ability to explain the understanding of graphs. » (PINKER, 1990)

De plus, il reconnaît volontiers le caractère théorique de son modèle et donc le manque d'expérimentations afin de tester la véracité des processus suggérés.

« There are a small number of experiments that I and my collaborators have performed which are explicitly designed to test the theory proposed here while avoiding the problems described. » (PINKER, 1990)

La suite de notre étude s'attachera donc à décrire un type de recherche complémentaire qui se restreint à l'étude d'une étape ou d'un aspect particulier de la compréhension graphique. Souvent, ces recherches s'appuient sur des expérimentations et viennent valider, infirmer ou compléter les modèles existants.

X. La recherche en perception graphique

« Graphical perception is the visual decoding of the quantitative and qualitative information encoded on graphs. » (CLEVELAND et MC GILL, 1985, 1987)

Une partie des recherches menées en compréhension graphique s'est focalisée sur la perception graphique qui constitue la capacité à décoder les informations d'un graphique. Selon Cleveland et Mc Gill (1985), un graphique est considéré comme « réussi » si le décodage par le système visuel d'un individu est efficace réalisé. Ainsi, l'encodage des informations par le cartographe ne peut être correctement réalisé que si le processus de décodage, appelé ici perception graphique, est compris.

Cleveland et Mac Gill (1985, 1987) ainsi que Simkin et Hastie (1987) ont donc cherché à identifier un certain nombre de propriétés impliquées dans la perception graphique. Ils ont également établi un classement de ces propriétés graphiques à travers des expérimentations testant la capacité et la précision de sujets à décoder ces dernières sur un graphique. Ainsi, pour les 6 propriétés graphiques jugées instantanées par Cleveland et Mc Gill, le classement est le suivant de la plus précise à la moins précise :

Rank	Aspect judged
1	Position along a common scale
2	Position on identical but nonaligned scales
3	Length
4	Angle
	Slope (with θ not too close to 0, $\pi/2$, or π radians)
5	Area
6	Volume
	Density
	Color saturation
7	Color hue

Figure 9 : Classement des propriétés graphiques de la plus précise à la moins précise. (CLEVELAND & MC GILL, 1984,1987)

Ainsi, le système de perception humain est plus ou moins sensible à une variation de nuance de couleur (7) qu'à une variation de volume (6). Il détecte plus facilement une longueur qu'un angle etc.

Les recherches de Simkin et Hastie (1987) viennent cependant nuancer les résultats précédents. En effet, ce classement ne serait pas absolu et changerait dans certaines situations. Ainsi, à titre d'exemple, l'ordre entre le jugement d'un angle (4) et d'une longueur (3) devrait être inversé dans le cas d'un diagramme circulaire (camembert). Il est en effet plus aisé de juger un angle qu'une longueur dans ce type de graphique. **Certaines propriétés graphiques sont donc plus**

facilement décodables avec un certain type de graphique qu'avec un autre. (SIMKIN et HASTIE, 1987 ; SHAH, 1997 ; SHAH et HOEFFNER, 2002)

De plus, Simkin et Hastie (1987) contestent également le caractère instantané de la détection de ces propriétés. Ils ont ainsi déterminé 4 processus mettant en jeu des opérations visuelles : « anchoring », « scanning », « projection » et « superimposition ».

- Anchoring (ancrage) : consiste à segmenter le composant de façon à ce que chaque segment corresponde à une valeur facilement perceptible par l'Homme. Ces segments servent donc de points de repère, une valeur initiale qui sera ajustée pour avoir la valeur désirée.
- Scanning : l'œil balaie une certaine distance afin d'estimer une valeur. Plus la distance à parcourir pour scanner est élevée moins l'estimation sera précise.
- Projection : une ligne imaginaire est projetée d'un point à un autre
- Superimposition : consiste à bouger un élément de l'image à un nouvel endroit souvent par-dessus un autre composant.

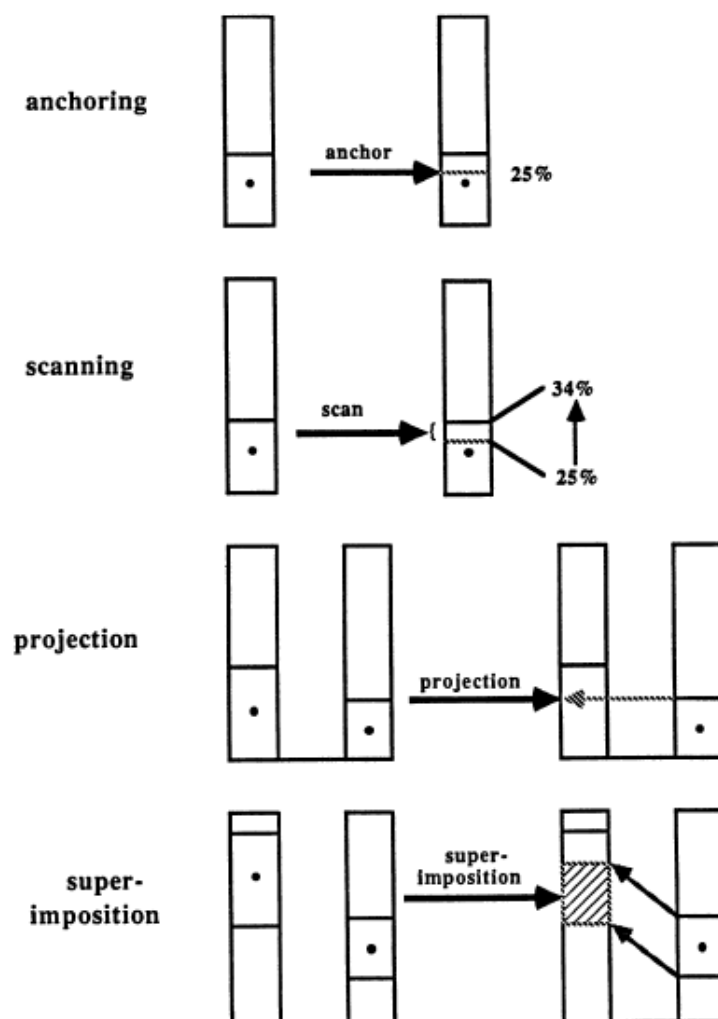


Figure 10 : Processus mis en jeu dans la perception graphique (SIMKIN & HASTIE, 1987)

Contrairement à Kosslyn (1989) et Pinker (1990), Cleveland/Mac Gill (1984, 1985) et Simkin/Hastie (1987) se sont concentrés sur les aspects touchant à la perception graphique venant ainsi compléter les modèles existants.

XI. Le caractère cyclique du processus de compréhension graphique

A la fin des années 90, à l'aide d'une méthode d'eye-tracking, des recherches ont réussi à montrer le caractère cyclique du processus de compréhension graphique.

Les études sur la fixation oculaire grâce aux progrès techniques ont pu voir le jour. L'eye-tracking permet de déterminer les mouvements des yeux et notamment les fixations (pauses pendant lesquelles l'œil encode une information, représentées par les cercles) et les saccades (rapides mouvements entre les fixations, représentées par les lignes). (SALVUCCI, 1999)

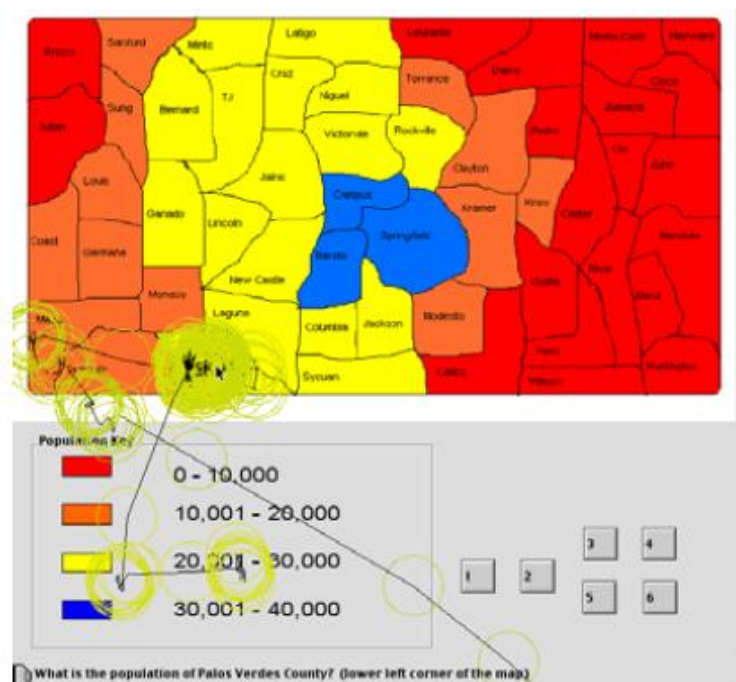


Figure 11 : Exemple de résultats par eye-tracking (RATWANI, TRAFTON & BOEHM-DAVIS, 2003)

En 1997, Shah établit un protocole afin de prouver ce caractère itératif. Les résultats démontrent que la compréhension graphique est complexe avec des sujets qui passent la majorité de leur temps à interpréter un graphique en rapportant à de multiples reprises les informations de la courbe du graphique à leur référent (les axes et la légende) plutôt que de considérer l'allure de la courbe elle-même.

Ces résultats supportent donc l'hypothèse **que l'interprétation graphique implique une transformation des caractéristiques visuelles en une représentation conceptuelle** (ex : la « visual description » de Pinker) **à travers de multiples cycles**. De plus, le nombre de cycles est fonction de la complexité du graphique : plus un graphique est complexe plus le nombre de cycle sera important.

XII. Rôle de l'expérience et influence des connaissances dans la compréhension graphique.

Beaucoup de recherches se sont portées sur le rôle de l'expérience acquise dans le domaine et des connaissances de l'utilisateur sur la compréhension graphique. (SHAH, 1997)

Car en effet, il apparaît qu'un utilisateur expérimenté aura moins de difficulté à interpréter un graphique et fera moins d'erreurs dans le processus de décodage. La capacité à lire un graphique peut donc être une question d'apprentissage. (BOARD et TAYLOR, 1976 ; SHAH, 1997 ; SHAH et HOFFNER, 2002)

Shah et Hoeffner distinguent en 2002 le rôle de nos connaissance du graphique et le rôle de nos connaissances sur le contenu (le sujet dont traite les données). Concernant le rôle des connaissances du graphique, ils soumettent l'idée que les « schemas » (cf. modèle de Pinker) peuvent influencer et déformer la représentation d'une carte ou d'un graphique. Les données en mémoire de l'utilisateur peuvent, en effet, influencer la perception d'un graphique. Car lorsque l'utilisateur reconnaît un type de graphique (grâce au « schema »), il lui associe immédiatement des propriétés et ressent certaines attentes vis-à-vis de ce type de graphique. Or ces propriétés et attentes sur un type précis de graphique peuvent avoir un impact sur l'encodage de l'actuel graphique que l'utilisateur observe. Par exemple, une étude a montré que lorsque l'on demande de tracer de mémoire une courbe, les sujets tendent à tracer une courbe beaucoup plus proche des 45° que la courbe originale.

Concernant les connaissances sur le contenu, ils montrent que l'interprétation de données graphiquement représentées est influencée par les convictions et les attentes de l'utilisateur. Ainsi, l'estimation d'une corrélation ou d'une covariance entre deux variable peut être surestimée lorsque cette corrélation ou covariance correspond aux connaissances de l'utilisateur déjà acquises sur le sujet. Inversement, elle peut être sous estimée et peut mener à des erreurs d'interprétation graphique lorsqu'elle entre en conflit avec les convictions et attentes de l'individu.

Cette étude suggère donc que **les connaissances d'un individus ont une influence sur leur interprétation et la mémorisation des données**. Cette influence serait surtout vérifiée pour les utilisateurs sans expérience qui n'ont

pas les « schemas » nécessaires pour surmonter cette influence de leur propre connaissance.

- **La carte cognitive**

S'inscrivant dans le champ de la sous-discipline de la cartographie cognitive, la carte cognitive (appelée carte mentale par WOOD, 1993) regroupe toutes les connaissances spatiales acquises à travers l'apprentissage d'un individu. Cette acquisition de savoirs peut être réalisée par des expériences directes (directement dans l'environnement) ou indirectes (en lisant un document, une carte...). Le savoir retenu est plus une interprétation du sens de la représentation graphique plus qu'une représentation spatiale. Par exemple, un parallèle peut être établi avec la mémorisation d'un texte : nous retenons en mémoire son sens global plutôt que les mots exacts qui le compose. Ainsi ces connaissances acquises et stockées dans la mémoire à long terme jouent un rôle important en communication géographique, dans l'acquisition et l'utilisation d'informations géographique mais également en matière d'orientation et de planification. (VERSTRAETE, 1996 ; ISSMAEL et MENESZES, 2011 a ; HIRTLE, 2009)

Ainsi, ces recherches viennent donc **étoffer les propriétés des « schemas »** de Pinker venant nuancer leur rôle en mettant en lumière un effet négatif pour l'interprétation graphique. Par ailleurs, ces études viennent **également renforcer le rôle de la mémoire à long terme** qui n'interviendrait pas uniquement en termes de connaissance sur le graphique mais également sur le contenu même des données traitées et fait également appelle à une multitude de connaissances spatiales, appelée carte cognitive, que l'individu acquiert durant des expériences.

XIII. Des modèles généralistes (Kosslyn, Pinker) trop simplistes ?

« [...] *current models of graph comprehension do not adequately capture how people use graphs and complex visualizations.* » (TRAFTON et TRICKETT, 2001)

« Until recently, models of graph comprehension have mostly focused on simple graphs and tasks, for which information is explicitly represented in the graph. » (TRAFTON et TRICKETT, 2006)

Dans les années 2000, certaines recherches ont remis en cause les modèles de compréhension graphique existants en leur reprochant de ne traiter que trop superficiellement l'utilisation d'un graphique. En effet, les expérimentations en laboratoires n'emploient en général qu'un type très simple de graphique. C'est également le type de question qui se limite souvent à de simples questions d'extraction de données (lecture d'une donnée explicitement présente dans le graphique) qui est contesté pour pouvoir comprendre l'intégralité du processus de compréhension graphique. Les modèles généralistes seraient ainsi remis en cause

lorsque l'on souhaite effectuer des tâches plus complexes. (RATWANI, TRAFTON, BOEHM-DAVIS, 2003,2007 ; TRAFTON et TRICKETT, 2002,2006)

- **Trafton et Trickett (2001, 2006)**

En 2001, Trafton et Trickett tentent de répondre à deux questions : est ce que les utilisateurs experts de représentations graphiques ont déjà eu besoin d'info qui ne sont pas spécifiquement sur un graphique qu'ils utilisent ? Si oui, comment extraient ils l'info du graphique ?

La méthode adoptée a été une adaptation de la méthode in vivo de Dunbar (DUNBAR, 2001) qui consiste à observer des scientifiques dans leur environnement réel lorsqu'ils travaillent sur leurs propres recherches. Ainsi, les scientifiques sont confrontés à des graphiques touchant leur domaine qui sont souvent beaucoup plus complexe que les graphiques expérimentaux traditionnels et font appel à des questions relativement complexes. Cette méthode permet également d'enregistrer des mesures « en directe » du raisonnement à travers un protocole qui consiste à enregistrer les paroles des scientifiques auxquels il a été demandé de décrire les tâches qu'ils accomplissent au fur et à mesure de leur réflexion.

Trafton et Trickett vérifient alors expérimentalement leur hypothèse de départ : lorsque l'information n'est pas explicite (directement lisible sur le graphique), nous utilisons des opérations mentales, une sorte d'image visuelle appelée « spatial transformation » (ST). Les ST sont décrites comme des opérations cognitives telles que des rotations mentales d'objet, la création mentale d'image et l'animation d'un aspect de la visualisation (exemple : imaginer un objet 2D en 3D).

En 2006, ils complètent leurs recherches avec la notion de cognition spatiale qui fait référence à des traitements spatiaux de l'information (appelées « spatial transformation » lors de leur étude en 2001). Le processus de cognition spatiale interviendrait ainsi lorsque des questions complexes dont les réponses ne peuvent être extraites directement d'un graphique sont posées.

Afin qu'un modèle de compréhension graphique soit plus complet, Trafton et Trickett suggèrent donc d'inclure le traitement spatial de l'information comme un composant important du processus de compréhension graphique. (TRAFTON et TRICKETT, 2001,2006)

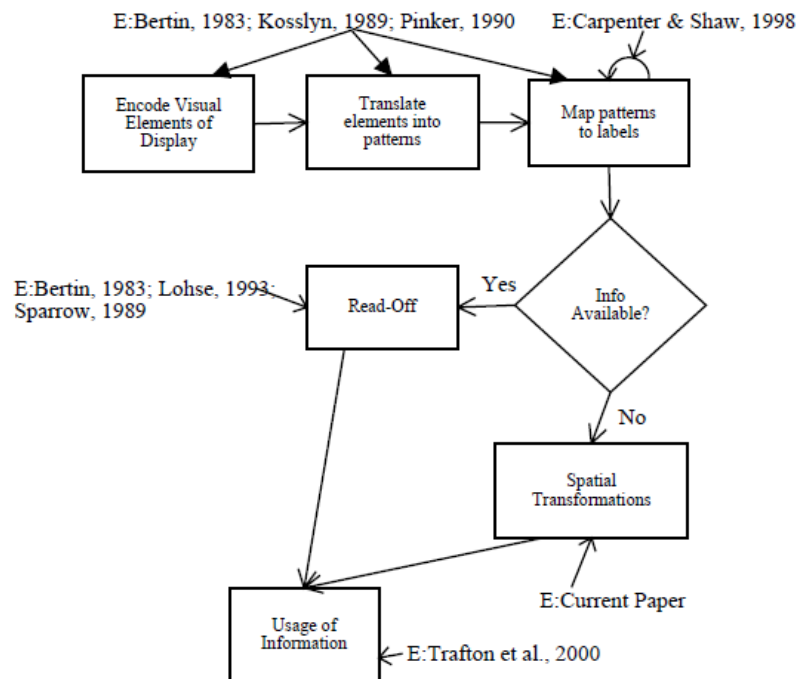


Figure 12 : Modèle de Trafton et Trickett incluant le processus de transformations spatiales (TRAFTON & TRICKETT, 2001)

- **Ratwani, Trafton et Boehm-Davis (2003, 2006)**

Dans le même courant de pensées, Rattwani, Trafton et Boehm-Davis distinguent tout d'abord l'extraction d'informations spécifiques (équivalent de l'information explicite de Trafton et Trickett, 2001, 2006) qui correspond à une simple lecture sur le graphique et l'extraction d'informations globales qui nécessite un raisonnement (par exemple dégager la tendance d'une courbe).

A travers deux types d'expériences, l'une consistant à répondre à des questions spécifiques et globales oralement et d'analyser le type de raisonnement, l'autre consistant à répondre à ces mêmes types de questions en utilisant la méthode de l'eye-tracking, il apparaît que des processus différents sont utilisés selon le type de question (spécifique ou globale). Il en résulte donc que le processus de visualisation de la carte diffère selon le type de questions.

Le même groupe de chercheurs effectuent en 2007 des travaux plus importants sur les processus perceptuels et cognitifs mis en jeu pour l'extraction d'informations spécifiques et pour l'extraction d'informations nécessitant un processus d'intégration (processus déclenché pour les questions globales nécessitant un raisonnement).

Il ressort de ces recherches que des questions spécifiques et des questions d'intégration d'information mettent en jeu des processus différents. En effet, il est montré que pour des questions spécifiques, le processus d'intégration de l'information se déroule en deux étapes : dans un premier temps la recherche de

l'information par des fixations sur la zone graphique de la carte puis dans un second temps la mise en relation de l'information avec la légende qui se traduit par des mouvements de saccades (entre la zone graphique contenant l'information et la légende).

En revanche, pour les questions d'intégration d'informations un processus plus complexe a lieu. En effet, l'intégration d'information inclut deux composantes pour former une représentation cohérente du graphique : l'intégration visuelle et l'intégration cognitive. L'intégration visuelle implique la formation de « clusters⁵ » (grappes visuelles) c'est-à-dire de zones partageant les mêmes caractéristiques perceptuelles (couleur), sémantiques, spatiales (proximité) ou autre. Elle se traduit expérimentalement par des fixations sur les frontières de « clusters ». Ensuite, l'intégration cognitive consiste à comparer ces « clusters » à la légende et les « clusters » entre eux par des saccades entre les différents éléments.

Il a également été démontré que le processus d'intégration d'informations est itératif ce qui confirme les hypothèses de Shah (SHAH, 1997) : plus le graphique est complexe et plus le nombre de cycles sera élevé pour avoir une représentation cohérente. Car en effet, plus un graphique sera complexe, plus le nombre de « clusters » sera important et plus le nombre de comparaisons entre « clusters » et avec la légende sera élevé.

A partir de ce modèle d'intégration visuelle, Rattwani, Trafton et Boehm-Davis ont pu établir quelques règles à suivre pour la conception d'une carte, afin de faciliter le processus d'intégration. :

- Pour faciliter la formation des « clusters » (pour faciliter l'intégration visuelle)
 - Renforcer les frontières des grappes (en épaississant les contours des grappes par exemple)
 - Utiliser une palette de couleurs variées et non des nuances d'une seule couleur
 - Éliminer les étiquettes (les écritures du graphiques) inutiles qui peuvent nuire au processus de formation des grappes
- Pour faciliter l'intégration cognitive (limiter le nombre de comparaisons)
 - L'association entre le code couleur et la légende doit être intuitive pour limiter les mouvements oculaires effectués entre les « clusters » et la légende . Il a été montré empiriquement que les lecteurs passent un certain temps à regarder la légende. La possibilité d'associer intuitivement une valeur quantitative à un « cluster » sans passer par la légende pourrait ainsi gagner du temps.
 - Réduire les variables uniques codées c'est-à-dire ne pas avoir trop de couleurs : il a été montré que plus le graphique est complexe plus le nombre de « clusters » est important et plus le temps de traitement de l'information est long. Il est donc conseillé d'avoir plus de séries générales pour réduire le nombre de variables.

⁵ cf. Glossaire

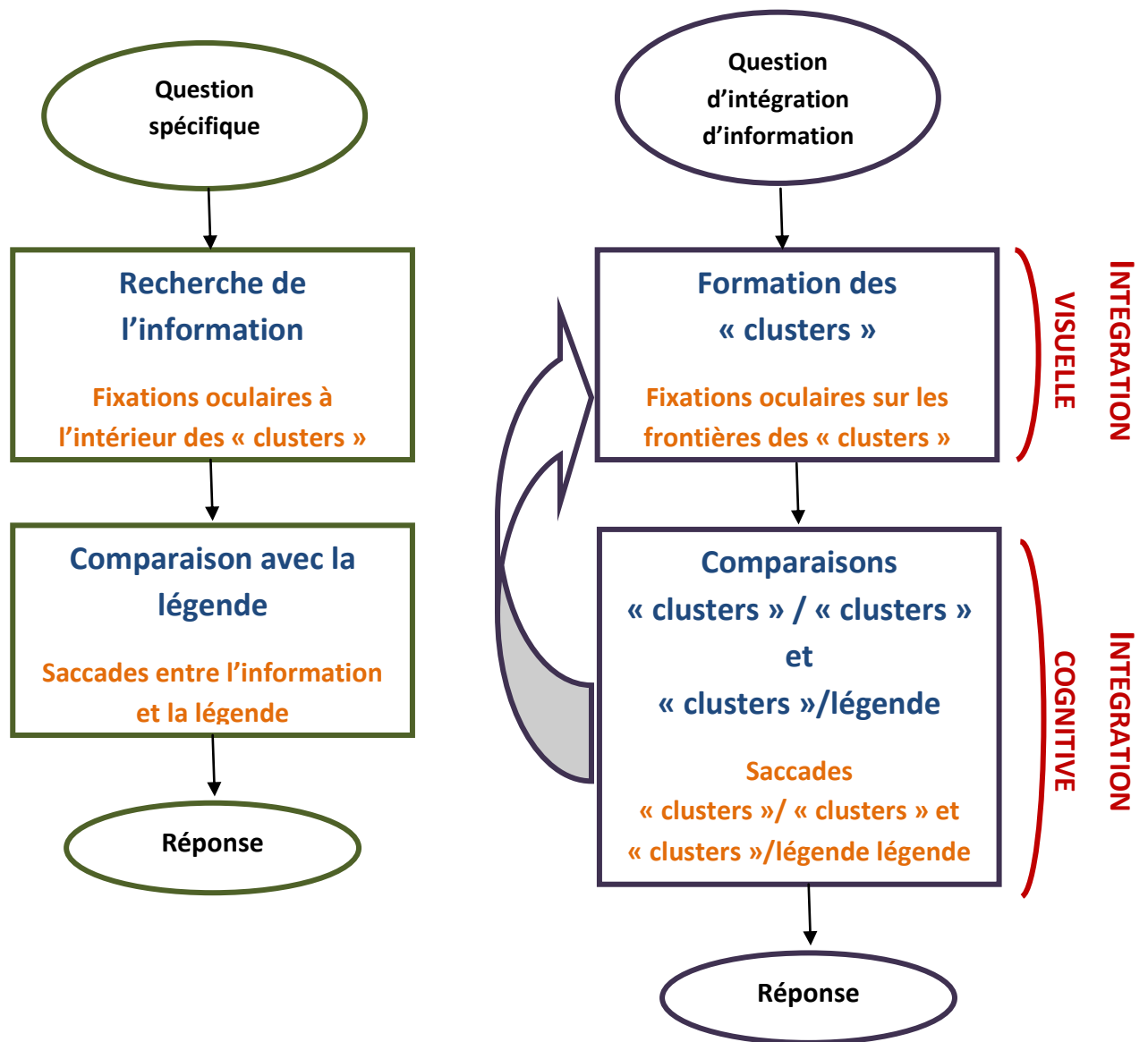


Figure 14 : Modèle de Ratwani, Trafton et Boehm-Davis (RATWAN, TRAFTON & BOEHM-DAVIS, 2006)

En conclusion, selon le type de question, le type d'opérations mentales changent : les modèles de compréhension graphique ne prennent pas en compte cette dimension, ils restent donc incomplets.

XIV. Conclusion de la partie

La recherche en cartographie s'est penchée depuis les années 50 à comprendre le processus de lecture d'une carte. La discipline a évolué avec la mutation du rôle de la carte. Le modèle de communication, apparu à la fin des années 60, s'est focalisé sur l'idée que la carte reste un support de communication graphique entre un émetteur (le cartographe) et un récepteur (l'utilisateur de la carte). Des modèles globaux ont vu le jour dont celui de Koláčný que nous avons détaillé.

Cependant, la faiblesse de ces modèles a bientôt été révélée de par leur caractère trop superficiel impliquant de bas niveaux de perception et par l'affirmation de la carte comme bien plus qu'un support de communication. De là, l'attention des chercheurs s'est focalisée sur l'utilisateur de la carte et plus particulièrement sur son processus de compréhension.

Une idée forte est alors apparue : la compréhension graphique est considérée comme un processus de traitement de l'information (modèle computationnel). De ce principe émergent des modèles globaux analytiques et théoriques balayant l'intégralité du processus alors que d'autres types de recherches plus ciblées et plus expérimentales viendront soit compléter une partie du processus en mettant en lumière de nouvelles étapes dans la compréhension graphique soit remettre en cause une partie de ce processus.

Cependant, aujourd'hui, nous constatons que l'ensemble des théories, globales ou ciblées, développée et supportée dans cette étude n'aboutissent pas réellement à des règles de construction graphiques pouvant aider le cartographe durant la conception de la carte. (MONTELLO, 2002) Ce fait est peut-être à mettre sur le compte de la jeunesse et à la constante évolution de la discipline qui ne permet pas d'avoir le recul suffisant.

Ainsi, le processus de lecture et d'interprétation cartographique est un processus complexe et les modèles théoriques ainsi que les expérimentations scientifiques abordent des hauts niveaux cognitifs qui restent trop abstraits à l'échelle du cartographe pour pouvoir aboutir à des règles de conception cartographique concrètes et généralisables (dans la mesure où cela reste possible).

PARTIE 3 : ETUDE PRATIQUE : MISE EN PLACE D'UNE METHODE D'AMELIORATION CARTOGRAPHIQUE

Dans la suite de notre étude, nous adopterons une démarche d'amélioration cartographique en revenant à un niveau que Montello qualifie « d'artisanal » (MONTELLO, 2002) : le niveau pratique. Nous tenterons d'établir une méthode simple et reproductible nous permettant d'obtenir des éléments concrets pour d'amélioration d'une carte.

XV. Une méthode selon 3 niveaux d'analyse cartographique

La méthode retenue s'organise selon 3 niveaux d'analyse: les variables visuelles, le niveau hiérarchique et le contenu. Le but est de tester expérimentalement le niveau d'influence de ces 3 niveaux sur la qualité de la carte. Les processus perceptuels et cognitifs sous-jacents, mis en lumière dans la partie précédente, seront tout de même considérés dans le sens où nous analyserons chaque niveau par rapport aux répercussions que ces derniers auront sur ces processus.

A. Les variables visuelles

Le niveau d'analyse des variables visuelles est une approche sémiologique de la cartographie. Bertin distingue 6 variables visuelles (BERTIN: la taille, la forme, la couleur, la valeur, la texture, le grain et l'orientation. Elles interviennent dans le processus de perception.

a. La taille

La taille d'un symbole d'une variable quantitative sera modifiée proportionnellement à sa valeur à représenter. La variation s'effectue alors sur la superficie, la longueur ou la largeur du symbole.



Figure 15 : Variable visuelle , la taille (STRAUCH, 2009)

b. La forme

La variation de la forme symbolise souvent un changement de variable. Deux variables qualitatives devront donc adopter des formes différentes afin de bien les distinguer. La forme peut par ailleurs avoir une connotation (triangle = danger), tout choix doit donc être fait avec intention afin de ne pas induire en erreur l'utilisateur. De même, certains choix de formes peuvent suggérer le sens du symbole et ainsi faciliter l'intégration visuelle (choisir le symbole d'un avion pour l'aéroport).

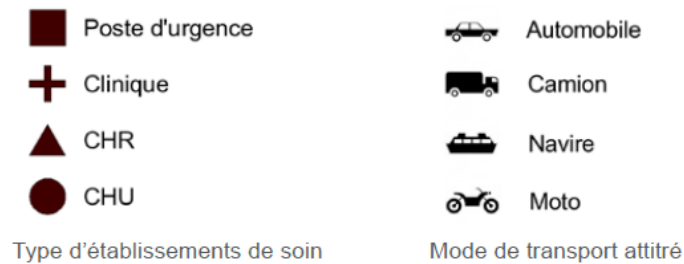


Figure 16 : Variable visuelle, la forme (STRAUCH, 2009)

c. La couleur

La variation de couleur est bien perçue par l'œil humain. Elle est efficace pour des variables qualitatives (rouge pour les filles, bleu pour les garçons) mais peut être imprécise pour représenter des valeurs quantitatives. Elle peut même être source d'erreur de lecture si elle est utilisée pour des données continues. La couleur peut également être imbue d'un sens (rouge = danger), le choix d'une couleur doit donc être réfléchi. (SHAH et HOFFNER, 2002)

La couleur peut varier selon 3 nuances :

- Le ton qui représente la couleur dominante (vert, bleu, rouge...). La variation de ton est le plus souvent utilisé pour des données qualitative.



Figure 17 : Variable visuelle, le ton d'une couleur (STRAUCH, 2009)

- La saturation dont la variation combinée ou non avec la variation d'intensité permet de construire des palettes de dégradés. Elle est utilisée pour représenter des données quantitatives.



Figure 18 : Variable visuelle, la saturation d'une couleur (STRAUCH, 2009)

- L'intensité est le rapport entre la quantité de noir et de blanc.



Figure 19 : Variation visuelle, l'intensité d'une couleur (STRAUCH, 2009)

d. La valeur

Cette dernière se rapporte à l'intensité citée précédemment et représente le rapport entre la quantité de noir et de blanc d'une surface donnée.



Figure 20 : Variation visuelle, la valeur (STRAUCH, 2009)

e. Le grain

La variation par le grain implique une modification du nombre d'élément de la trame. Contrairement à la variation de valeur, la variation de grain ne modifie pas l'équilibre entre le noir et le blanc.

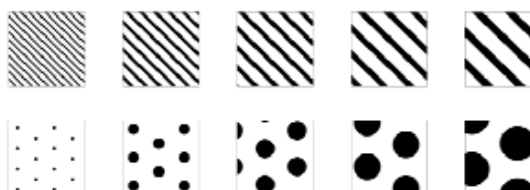
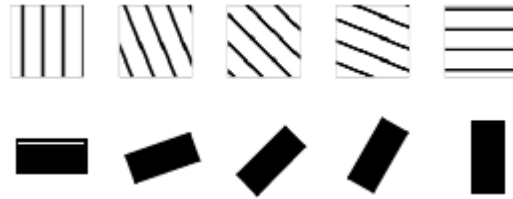


Figure 21 : Variation visuelle, le grain (STRAUCH, 2009)

f. L'orientation

La variation de l'orientation consiste à changer l'angle des symboles, le plus souvent des hachures.



**Figure 22 : Variation visuelle, l'orientation
(STRAUCH, 2009)**

B. Le niveau hiérarchique

La représentation graphique se structure par l'organisation des sous-ensembles de symboles d'une carte. Une attention particulière doit être portée quant à la façon de superposer les figurés. L'ordre général des éléments doit faire l'objet d'une réflexion préalable sur le sens du message porté par la carte et doit être établi en fonction du degré d'importance du symbole (et donc de l'information qu'il représente). Par exemple, le fond de plan ne devrait jamais prendre une place prépondérante par rapport aux autres informations. (POTTIER, 2000)

La hiérarchisation des éléments graphiques est importante car elle peut influencer le processus de perception en mettant clairement en avant certains aspects de la carte. Le niveau hiérarchique aura également un impact sur le processus cognitif puisqu'il est le lien entre les symboles de la carte et le sens de son message.



Extrait de J. Bertin : “Il s'agit de montrer l'extension des constructions nouvelles dans un village. Les habitudes acquises par le dessinateur de la carte 1 font de ce village une paisible agglomération rurale... alors qu'il est en train de devenir une banlieue résidentielle, avec tous ses caractères”.

A: constructions antérieures à 1962, B: lotissements, C: constructions postérieures à 1962, D: permis de construire déposés.

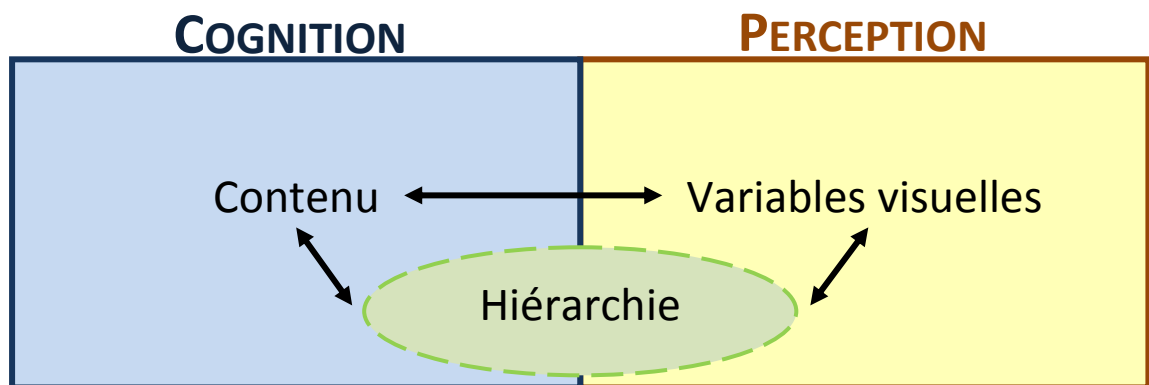
Figure 23 : Illustration du niveau hiérarchique (POTTIER, 2000)

C. Le contenu de la carte

Le contenu de la carte est lié au fondement du message que veut transmettre le concepteur. Nous ferons ici la distinction entre deux types de contenu : le contenu fondamental qui détient le message de la carte, la variable que l'on souhaite illustrer et le contenu contextuel qui ancre l'information dans son environnement et donne des repères à l'utilisateur afin de mieux situer spatialement les variables représentées. Le contenu fondamental est comme son nom l'indique indispensable puisqu'il détient le message clé que la carte souhaite illustrer. Il ne faut cependant pas surcharger une carte en introduisant trop de variables au risque de compromettre sa lisibilité. Il est donc parfois préférable de limiter le contenu essentiel et multiplier le nombre de carte. Le contenu contextuel insert la carte dans son environnement. Ces éléments ne sont à priori pas essentiels pour la compréhension de la carte mais ils peuvent faciliter l'utilisateur à appréhender son environnement. Cependant, ils doivent être utilisés avec parcimonie pour éviter les phénomènes de surcharge ou prendre une place trop prépondérante par rapport aux variables portant le message (le contenu fondamental).

Le contenu de la carte doit donc faire l'objet d'une réflexion minutieuse afin de faciliter l'intégration des informations. Il doit être un juste équilibre entre trop et trop peu d'informations. Ratwani , Trafton et Boehm-Davis ont montré que la formation des « clusters » visuels était cruciale pour l'intégration visuelle et cognitive. (RATWANI , TRAFTON ET BOEHM-DAVIS, 2002) Or une présence trop importante d'informations pourrait d'une part mener à la formation de trop nombreux « clusters » et d'autre part perturber leur formation par le système oculaire et donc ralentir le processus d'intégration de l'information.

D. Représentation schématique des trois niveaux d'analyse



XVI. Mise en application de la méthode sur une carte des risques

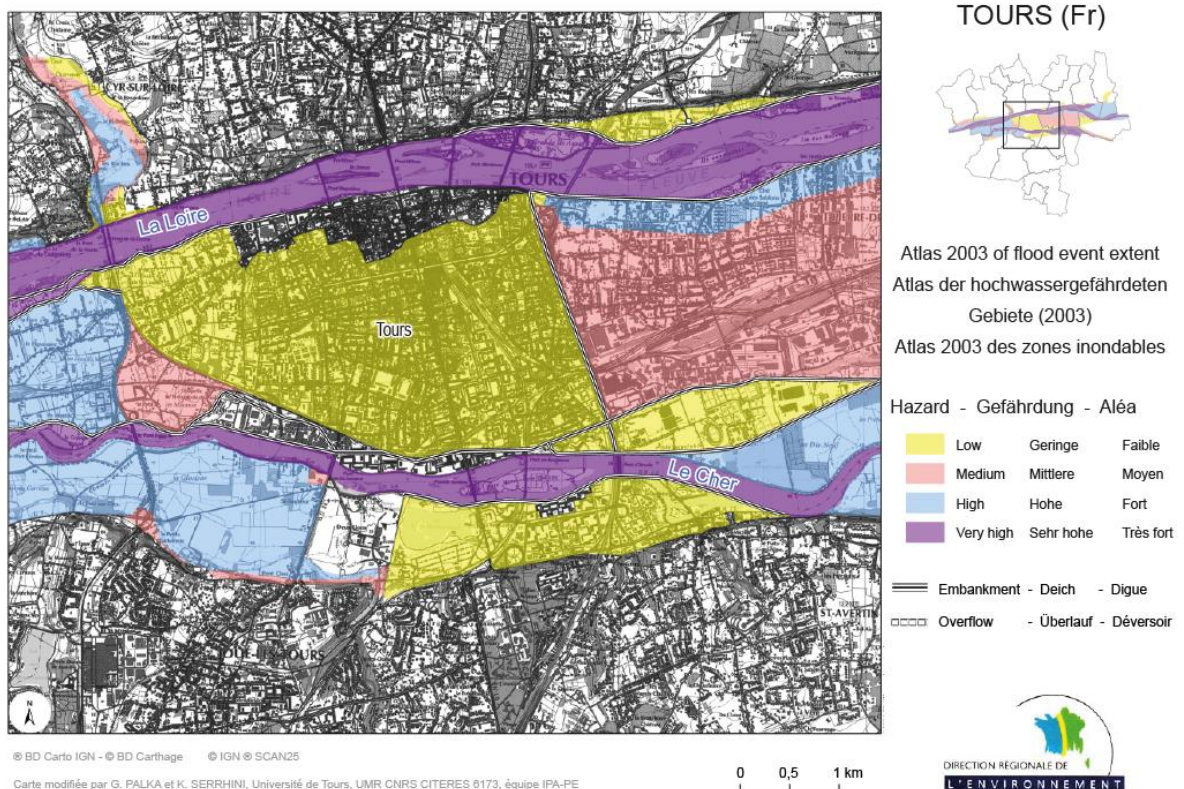


Figure 24 : Carte de l'Atlas des Zones Inondables (AZI) de Tours (SERRHINI et al., 2010)

La carte retenue est issue de l'étude *RISKMAP* – Experimental Graphic Semiology réalisée en 2010 et représente les différents niveaux de l'aléa inondation sur la ville de Tours. Il s'agit donc d'une carte de risque devant refléter le niveau de danger des différentes zones de Tours en cas d'inondation.

A. Les variables visuelles

Le but de cette expérience est de modifier les variables visuelles de la représentation afin d'optimiser la perception de l'image. Pour réaliser ce test, nous avons réalisé un traitement d'images à l'aide d'un logiciel donnant la possibilité de faire varier les différentes caractéristiques visuelles des éléments de la carte.

Nous effectuons une correction globale de l'image grâce au logiciel Image-J. Cette correction d'image permet de réajuster les niveaux de couleur en fixant les niveaux de noir et blanc à des points choisis sur la carte. L'effet global sera un meilleur contraste de l'image : les écarts de valeur plus important améliore ainsi notre perception des différents éléments.

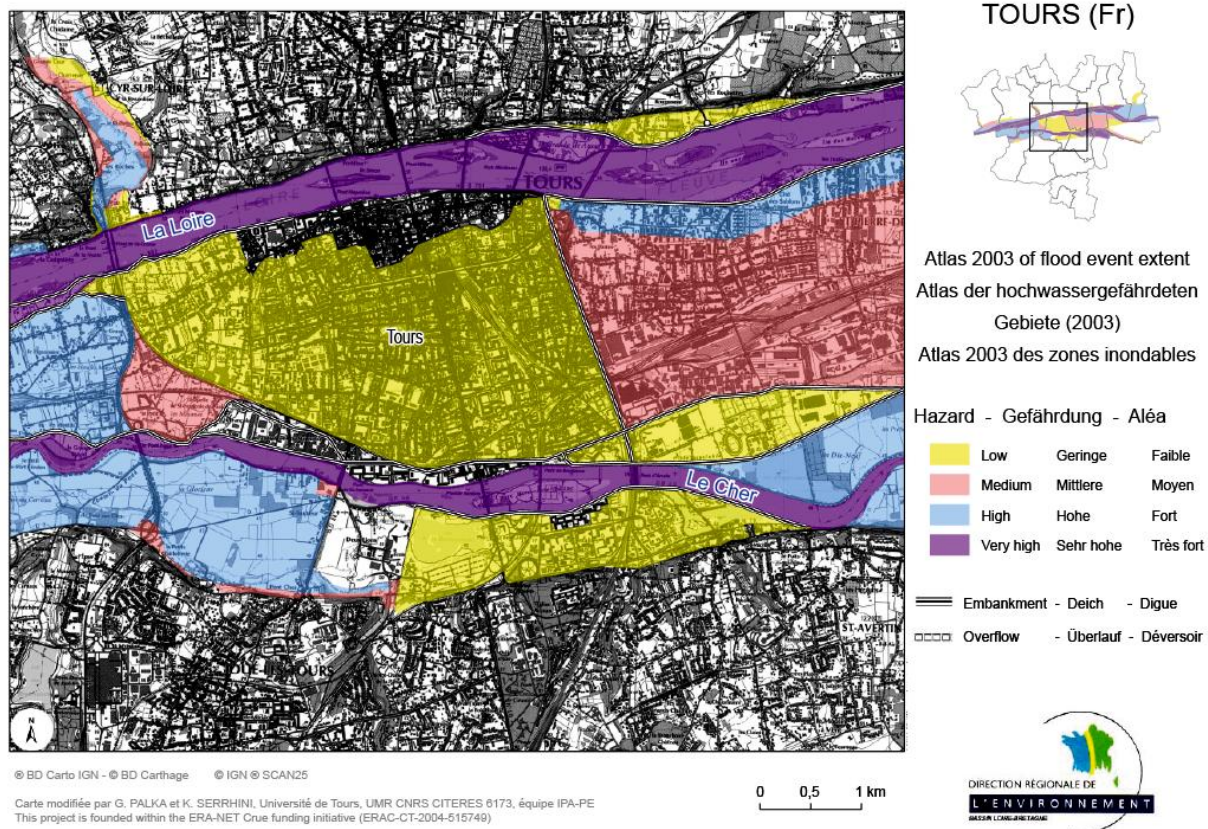


Figure 25 : Carte AZI de Tours après correction de l'image Colour Correct
(SERRHINI et al., 2010)

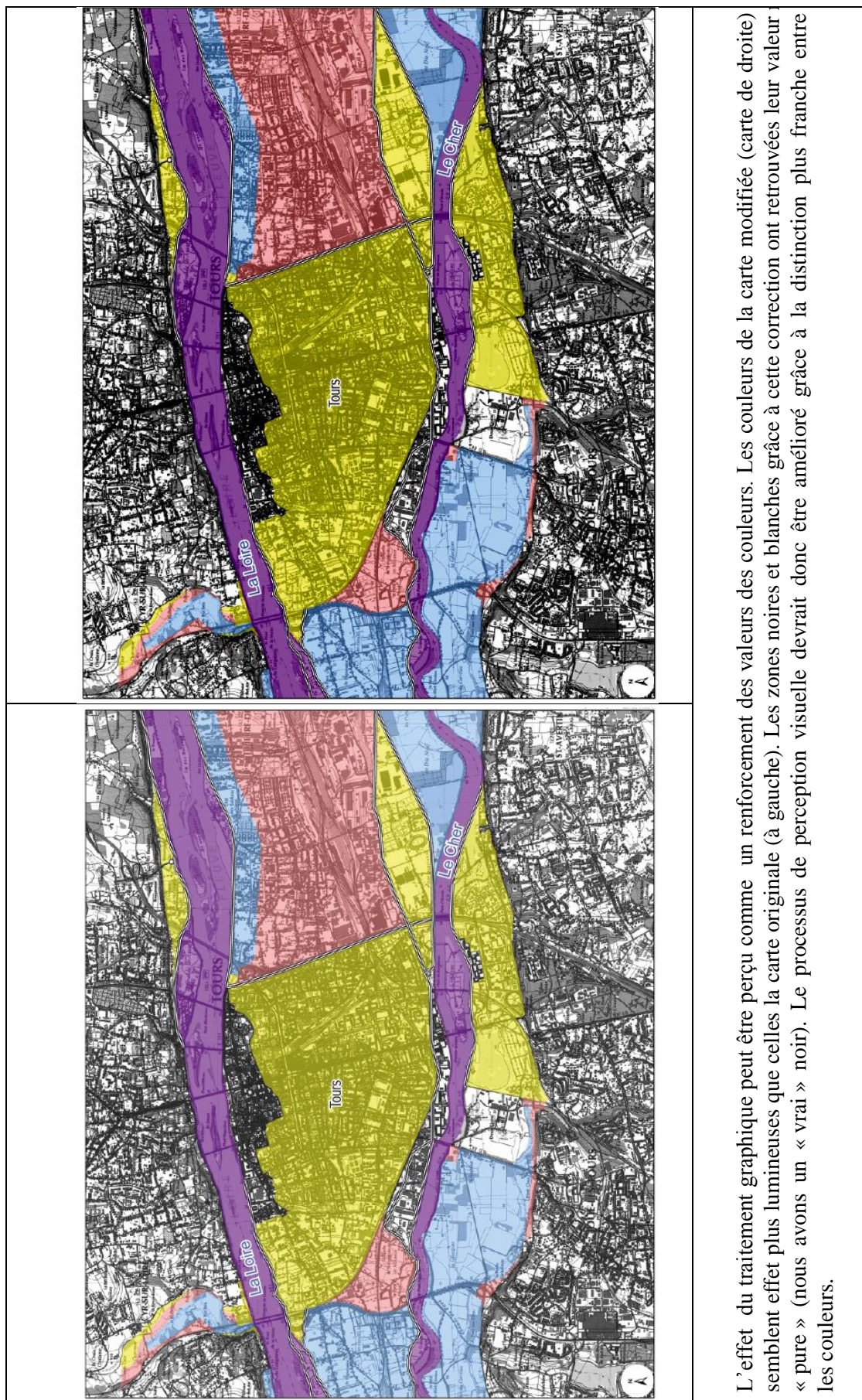


Figure 26 : Comparaison de la carte AZI modifiée par traitement informatique avec la carte originale (SERRHINI et al., 2010)

B. Le niveau hiérarchique

Le traitement hiérarchique s'appliquera à mettre en avant certaines couches cartographiques afin de remettre au premier plan les éléments importants. Pour notre cas d'étude, la carte contient peu de niveaux de symboles, il n'y a donc pas de correction pertinente à ce niveau d'analyse

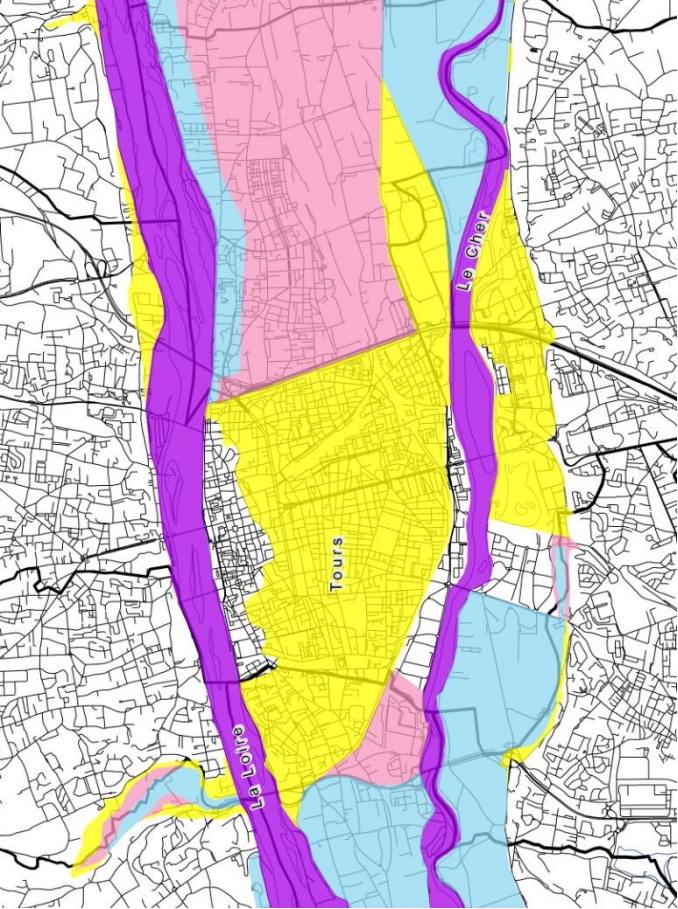
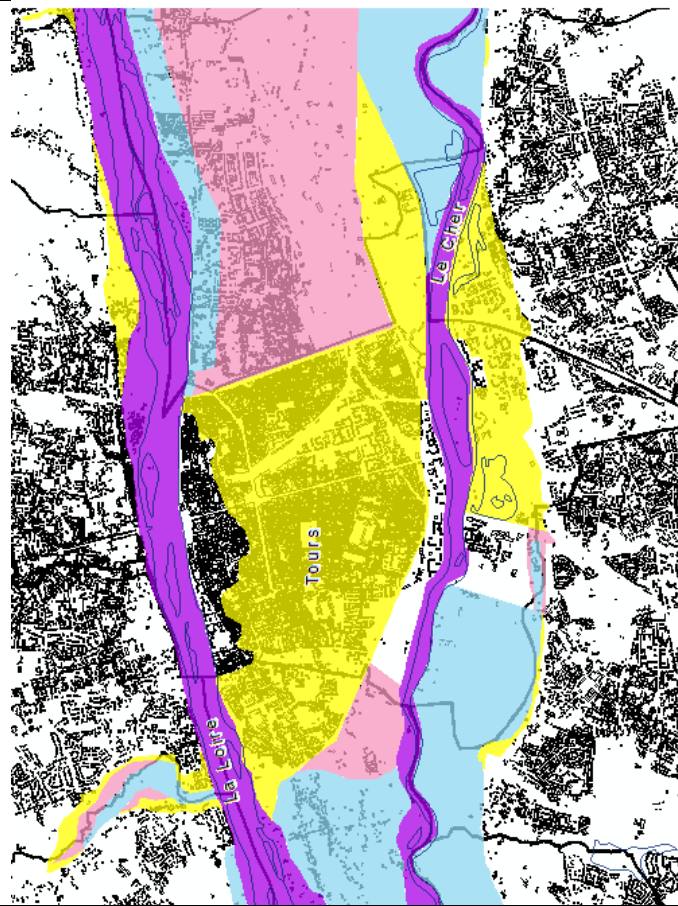
C. Le contenu

Le traitement du contenu veillera à vérifier si le nombre de variables fondamentales n'est pas trop important et si le contenu contextuel est trop ou trop peu présent. Le but est de voir si le contenu est en adéquation avec le message de la carte.

La carte retenue contient peu de variables fondamentales, pourtant une impression de surcharge émane de cette représentation. En effet, la source du problème réside dans le fond de carte qui contient un nombre élevé d'informations (emprise au sol, réseau routier...) Or, beaucoup d'entre elles ne sont pas essentielles pour la compréhension globale du message (les niveaux d'aléa à Tours) et viennent au contraire parasiter les informations importantes.

Remarque : Ce fond de carte est issu des préconisations officielles du guide des PPR (Plan de Prévention des Risques – Risque Inondation – Guide Méthodologique) où l'utilisation du fond de plan topographique IGN à l'échelle 1/25 000 est explicitement indiquée.

Afin de retravailler le contenu, nous avons reconstitué la carte originale avec le logiciel ArcGis en utilisant les bases de données appropriées. Les valeurs des couleurs ont été conservées par rapport à l'original afin de ne changer qu'un seul paramètre : la densité d'information du fond de carte. Ce dernier a donc été dépourvu d'une partie de ses éléments afin d'alléger l'ensemble de la carte. Plusieurs possibilités ont été envisagées : conservation du réseau routier ou de l'emprise au sol.

	
<p><i>Sources : IGN BD CARTO®, BD TOPO®, BD CARTHAGE®, Atlas des Zones Inondables</i></p>	<p>Nous proposons deux façons de modifier le fond de carte : l'une en conservant les réseaux routiers principaux (à gauche) et l'autre conservant l'emprise du bâti (à droite). Dans les deux cas, la modification a allégé la carte en enlevant une partie des informations jugées trop nombreuses du fond de carte de l'IGN (cf. Figure 23). L'effet global de ce changement est donc positif : la carte semble plus claire grâce au nombre plus restreint d'information tout en conservant les variables essentielles et une quantité suffisante d'informations contextuelles pour localiser les zones inondables par rapport à Tours.</p>

D. Conclusion de l'étude de cas

L'application de la méthode selon les 3 niveaux d'analyse (variables visuelles, hiérarchique et contenu) semble apporter des résultats intéressants pour améliorer une carte.

Le niveau hiérarchique n'a pas pu être appliqué dans notre cas d'étude. Cependant l'analyse à ce niveau ne doit pas être négligé, l'exemple de Bertin (cf. figure 22) nous a montré qu'une mauvaise hiérarchie pouvait altérer la teneur du message que souhaite délivrer la carte.

Par ailleurs, nous pouvons noter que le niveau des variables visuelles qui agit sur les processus de perception n'est sans doute pas suffisant pour aboutir à une amélioration satisfaisante. La marge d'action est en effet plus restreinte avec le traitement d'image par le logiciel Image-J. Nous notons une amélioration générale de la carte avec des couleurs plus distinguables, cependant les effets sont moins convaincants que ceux de la modification du contenu.

La modification la plus pertinente semble donc d'agir directement sur le contenu de la carte pour avoir un impact direct sur les processus cognitifs mis en jeu. C'est en effet une réflexion approfondie sur le message que doit porter la carte et donc l'identification des variables strictement nécessaires qui aura le plus d'impact sur la qualité de la carte (en terme d'amélioration du processus d'intégration d'information).

XVII. Conclusion

La méthode d'amélioration cartographique proposée semble être une première approche intéressante. L'analyse selon les 3 niveaux semble être capable de détecter et de traiter un nombre d'erreurs cartographiques relativement élevé. La méthode relève des erreurs ayant des conséquences directes sur les processus de perception et de cognition. Cependant en vu du cas traité, l'analyse du contenu qui impactera la cognition semble être le niveau le plus pertinent car c'est lui qui aura un impact plus important : la réflexion sur le contenu et la présence du strict nécessaire d'informations sont des un facteurs important.

La création d'une méthode pratique d'amélioration cartographique a donc su montrer des qualités. En appliquant les trois niveaux d'analyses un certain nombre d'erreurs peuvent être supprimées (sur une carte existante) ou évitées (lors de la création d'une carte). Cependant, nous ne pouvons établir de règles systématiques et les corrections restent dépendantes du cas d'étude traité. L'analyse de la carte reste donc dans un sens subjective et dépend de l'expérience du concepteur.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude nous a permis d'aborder la cartographie sous trois angles différents afin d'apporter des éléments de réponse à la problématique.

L'approche historique nous a permis de mieux cerner les bouleversements qui ont eu lieu ces 50 dernières années dans le domaine de la cartographie et d'appréhender les aspects sociologiques et culturels de la carte. De ce premier niveau d'analyse, il apparaît que pour concevoir une carte, il est important de cerner le contexte social et culturel dans lequel s'inscrit cette dernière et de ce fait, il est primordial d'adapter la carte au destinataire.

L'étude des théories et expérimentations cartographiques a donné lieu à un travail beaucoup plus conséquent. Nous avons essayé à travers cette analyse d'avoir un aperçu des types de travaux théoriques et expérimentaux menés dans ce domaine afin de mieux cerner les implications perceptuelles et cognitives du processus de compréhension graphique. Il est apparu que le processus de compréhension graphique est un processus complexe que les nouvelles recherches viennent étoffer d'années en années. Par ailleurs, l'ensemble des théories généralistes et expérimentations mises en lumière au cours de cette étude restent pour la plupart à un niveau perceptuel ou cognitif trop abstrait pour pouvoir aboutir à des consignes et des conseils pour la conception cartographique.

Enfin, dans la troisième approche pratique, nous avons tenté d'établir une méthode d'analyse de carte selon trois niveaux (niveau des variations visuelles, hiérarchique et contenu) afin de pouvoir identifier, et dans la mesure du possible, corriger les erreurs majeures de représentation. Ce modèle s'est avéré être une bonne première approche d'analyse mais qui semble tout de même avoir certaines limites. En effet, la méthode de correction doit être adaptée à chaque cas et l'analyse dépend grandement des connaissances cartographiques du concepteur.

Pour conclure, nous établirons que pour optimiser la conception cartographique, le créateur de la carte devrait avoir conscience des différentes dimensions sociales, culturelles, cognitives, scientifiques de la carte. Notre étude a montré qu'aujourd'hui les modèles théoriques ont des difficultés à trouver des applications concrètes pour la production de cartographie mais que l'aspect historique et qu'une approche pratique pouvait fournir un certain nombre d'éléments pouvant guider nos choix lors de la construction d'une carte.

Clusters :

Les *clusters*, parfois appelés *visual chunk*, peuvent être traduits en français par le terme grappes visuelles. Ils désignent des entités similaires qui ont été mentalement regroupées lors du processus d'intégration visuelle. Les similarités des entités d'un même cluster se basent la plupart du temps sur des caractéristiques perceptuelles (ex : des points de même couleur), sémantique ou spatiale. (RATWANI, TRAFTON & BOEHM-DAVIS, 2008)

Cognition :

La cognition est le processus de construction du savoir mental qui se forme à travers l'expérience quotidienne. La cognition est complémentaire de la perception. C'est à travers elle que la sensation (le phénomène perçu) acquiert une valeur et un sens impliquant des processus de reconnaissance, de mémorisation, de raisonnement, d'apprentissage et de communication. La cognition se réfère à la façon dont l'information est reçue lorsqu'elle est encodée, stockée et organisée dans le cerveau afin qu'elle convienne avec le savoir accumulé d'un individu. (ISSMAEL & MENEZES, 2011 b)

Perception :

Dans son sens premier, la perception peut être considérée comme l'immédiate appréhension d'informations en provenance de l'environnement par un ou plusieurs des sens (les 5 sens étant la vue, l'ouïe, l'odorat, le toucher et le goût). Dans cette étude, le terme perception sera systématiquement associée à la perception visuelle. Elle intervient en amont du processus de cognition. (ISSMAEL & MENEZES, 2011 b)

Schema :

Les *schemas* appelés parfois *schematas* peuvent être vus comme des structures cognitives pourvues des caractéristiques strictement nécessaires à l'identification d'une entité typique d'une classe particulière d'objet. (MC EACHREN, p42, 1995)

Sémiologie graphique :

La sémiologie graphique est un champs particulier de la sémiologie développé par Bertin. Elle a pour but de transmettre convenablement une information et d'aboutir à une image cartographique accessible au lecteur. A partir d'un système de signes rigoureux, elle permet la conception d'une image graphique à partir d'informations complexes. Elle établit également des règles de perception et de représentation d'une information dont les objectifs sont de proposer la plus grande sélectivité (*Sélectivité = capacité d'extraire l'information représentée et de la mémoriser rapidement*). (BERTIN, 1967 ; STRAUCH, 2009)

BIBLIOGRAPHIE

Belbin, J. A. (1996). *Cartographic Design : Theoretical and Practical Perspectives*. Clifford H. Wood and C. Peter Keller (Eds.). John Wiley & Son Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex (England). chap 18 : Gestalt theory applied to Cartographic text, pp.253-269.

Bertin, J. (1967). *Sémiologie graphique*. Paris: Gauthier- Villars.

Board, C. and R.M. Taylor. (1977). Perception and maps: Human factors in map design and interpretation. *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series* 2: 19-36.

Cleveland, W. S. and McGill, R. (1985) Graphical perception and graphical methods for analysing and presenting scientific data. *Science*, 229, 828-833

Cleveland, W.S, & McGill, R. (1987). Graphical perception: The visual decoding of quantitative information on graphical displays of data. *Journal of the Royal Statistical Society, A*, 150, 192–229.

Crampton, J. W. (2001). Maps as Social Constructions: Power, Communication and visualization", *Progress in Human Geography*, vol. 25, no. 2, pp. 235–252.

Crampton, J. W. and Krygier J. (2006). An Introduction to Critical Cartography", *ACME: An International E-Journal for Critical Geographies*, vol. 4, no. 1, pp. 11-33.

Dunbar, K. (2001). *Designing for science: Implications from everyday, classroom, and professional settings*, Crowley, K., Schunn, C. D., & Okada, T. (Eds.). chap 5 : *What Scientific Thinking Reveals About the Nature of Cognition*. pp. 115-140.

Dodge M., Kitchin, R. & Perkins, C. (2009). *Rethinking Maps: New Frontiers in Cartographic Theory*, chap1 : Thinking about maps, 25p

Fotiadis, P. (2009). The Strange Power of Maps : How maps work politically and influence our understanding of the world. *School of Sociology, Politics, and International Studies University of Bristol*. Working Paper No. 06-09

Glennerster, A. (2002). Computational theories of vision. *University Laboratory of Physiology, Parks Road, Oxford, OX1 3PT*.

Graziano M. (2008). Sémiologie graphique expérimentale pour une cartographie efficace du risque d'inondation. *Mémoire du Projet de Fin d'Études, sous la direction de K. Serrhini, Département Génie de l'Aménagement, École Polytech'Tours*, 139 pages.

Halverson, T. (2008). An Active Vision" Computational Model of Visual Search for Human-Computer Interaction. *Dissertation abstract, Department of Computer & Information Science, University of Oregon*

- Hirtle, S. (2009). *Handbook of Research on Geoinformatics*, chap 8 : Cognitive Maps, pp. 65-72.
- Issmael L. S. & Menezes P. M. L. D. (2011 a). Cognitive cartography and geographic information spatialization., 25th International Cartographic Conference. Paris, 3–8 July 2011
- Issmael L. S. & Menezes P. M. L. D. (2011 b). Cognitive maps in the generation of spatial databases, 25th International Cartographic Conference. Paris, 3–8 July 2011
- Koláčny, A. 1969. Cartographic information—a fundamental concept and term in modern cartography. *Cartographic Journal* 6: 47-9.
- Kosslyn, S. M. (1989). Understanding charts and graphs. *Applied Cognitive Psychology*, 3, 185–226.
- MacEachren, A.M. 1995. *How maps work: Representation, visualization, and design*. New York, New York: Guilford Press.
- Montello, Daniel R. 2002. Cognitive map-design research in the twentieth century: Theoretical and empirical approaches. *Cartography and Geographic Information Science* 29, 283-304.
- Omkar Lele, B. E. (2009). Building a computational model for graph comprehension using bisoar. *Thesis of Graduate Program in Computer Science and Engineering, The Ohio State University*.
- Palka, G. (2010). Sémiologie graphique expérimentale : Pour une cartographie du risque d'inondation plus adaptée aux besoins et attentes des destinataires. *Mémoire du Projet de Fin d'Études, sous la direction de K. Serrhini, Département Génie de l'Aménagement, École Polytech'Tours*, 105 pages.
- Pinker, S. (1990). A theory of graph comprehension. In R. Freedle (Ed.), *Artificial intelligence and the future of testing* (pp.73–126). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Poggio, T. (1981). Marr's approach to vision. *Massachusetts Institute of Technology. Artificial Intelligence Laboratory*. A. I. Memo 645
- Pottier, P. (2000). Sémiologie et communication graphique. *Université de Nantes*.
- Ratwani, R. M., Trafton G. J. and Boehm-Davis D. A (2003). Thinking graphically: extracting local and global information. 25th meeting of the cognitive science society. (July 31 – August 2)
- Ratwani, R. M., Trafton G. J. and Boehm-Davis D. A.(2008). Thinking Graphically: Connecting Vision and Cognition During Graph Comprehension. – *Journal of Experimental Psychology: Applied*, Vol. 14, No.1, pp. 36-49
- Robinson, A.H. (1952). *The look of maps*. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin Press.

- Serrhini et al. (2010). Improving Flood Risk Maps as a Means to Foster Public Participation and Raising Flood Risk Awareness: Toward Flood Resilient Communities – RISKMAP. *ERA-NET CRUE Funding Initiative*
- Shah, P. (1997). A Model of the Cognitive and Perceptual Processes in Graphical Display Compréhension, *AAI Technical Report FS-97-03* (www.aaai.org)
- Shah, P., & Hoeffner, J. (2002). Review of graph comprehension research: Implications for instruction. *Education Psychology Review*, 14, 47–69.
- Simkin, D., and Hastie, R. (1987). "An information-processing analysis of graph perception." *Journal of the American Statistical Association*, 82, 454-465.
- Strauch, G.-A. (2009). Sémiologie graphique, *Congrès de cartographie statistique de Tours (Janvier 2009)*
- Trickett, S. B. & Trafton, J. G., (2001). A new model of graph and visualization usage. In J. D. Moore, & K. Stenning (Eds.), *Proceedings of the Twenty Third Annual Conference of the Cognitive Science Society*, (pp.1048{1053). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Trickett, S. B., & Trafton, J. G. (2006). Toward a comprehensive model of graph comprehension: Making the case for spatial cognition. In D. Barker-Plummer, R. Cox, & N. Swaboda (Eds.), *Diagrammatic representation and inference* (pp. 286–300). Berlin: Springer-Verlag.
- Wood, D. (1993). What makes a map a map ? *CARTOGRAPHICA* vol 30 Number 2&3 Summer/Autumn. Pp 81-86.
- Verstraete, T. (1996). La cartographie cognitive : outil pour une démarche d'essence heuristique d'identification des Facteurs Clés de Succès. *CLARÉE (Centre Lillois d'Analyse et de Recherche sur l'Évolution des Entreprises), URA CNRS 936 Membre du GREMCO, (Groupe de Recherche sur les Méthodes de Contrôle Organisationnel)*, 33p.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Schéma général du modèle de communication (MAC EACHREN, p4, 1995)	17
Figure 2 : Le modèle de Koláčný (KOLACNY, 1969).....	18
Figure 3 : Modèle de Marr (MC EACHREN, p29, 1995)	21
Figure 4 : Modèle de Kosslyn (KOSSLYN, 1989).....	22
Figure 5 : Modèle de Pinker (PINKER, 1990).....	22
Figure 6 : La "visual array", la "visual description" et sa représentation graphique de Pinker (PINKER, 1990)	23
Figure 7 : Un histogramme et sa "visual description" (PINKER, 1990).....	24
Figure 8 : "Schema" d'un numéro de sécurité sociale	25
Figure 9 : Classement des propriétés graphiques de la plus précise à la moins précise. (CLEVELAND & MC GILL, 1984,1987)	27
Figure 10 : Processus mis en jeu dans la perception graphique (SIMKIN & HASTIE, 1987)	28
Figure 11 : Exemple de résultats par eye-tracking (RATWANI, TRAFTON & BOEHM-DAVIS, 2003)	29
Figure 12 : Modèle de Trafton et Trickett incluant le processus de transformations spatiales (TRAFTON & TRICKETT, 2001)	33
Figure 13 : Modèle de Ratwani, Trafton et Boehm-Davis (RATWANI, TRAFTON & BOEHM-DAVIS, 2008).....	34
Figure 14 : Variable visuelle , la taille (STRAUCH, 2009).....	37
Figure 15 : Variable visuelle, la forme (STRAUCH, 2009)	38
Figure 17 : Variable visuelle, le ton d'une couleur (STRAUCH, 2009)	38
Figure 16 : Variable visuelle, la saturation d'une couleur (STRAUCH, 2009)	39
Figure 18 : Variation visuelle, l'intensité d'une couleur (STRAUCH, 2009).....	39
Figure 19 : Variation visuelle, la valeur (STRAUCH, 2009).....	39
Figure 20 : Variation visuelle, le grain (STRAUCH, 2009)	39
Figure 21 : Variation visuelle, l'orientation (STRAUCH, 2009)	40
Figure 22 : Illustration du niveau hiérarchique (POTTIER, 2000).....	41
Figure 23 : Carte de l'Atlas des Zones Inondables (AZI) de Tours (SERRHINI et al., 2010)	43
Figure 24 : Carte AZI de Tours après correction de l'image Colour Correct (SERRHINI et al., 2010).....	44
Figure 25 : Comparaison de la carte AZI modifiée par traitement informatique avec la carte originale (SERRHINI et al., 2010).....	45
Figure 26 : Deux exemples de modification du fond de la carte AZI Tours.....	48

Table des matières

Avertissement	4
Formation par la recherche et projet de fin d'études	5
EN GENIE DE L'AMENAGEMENT	5
REMERCIEMENTS	6
Note préalable	7
Introduction	10
Partie 1 : Etude de l'Histoire cartographique : de l'art à la science de la cartographie	11
I. Avant 1950 : l'art de la cartographie	12
II. Depuis les années 50 : une approche beaucoup plus scientifique	12
III. Fin des années 60, années 70 : un modèle s'impose : le « communication model »	13
IV. Milieu des années 80 : déclin du modèle dominant	14
V. La cartographie aujourd'hui	14
VI. Conclusion	15
Partie 2 : Etude des modèles de compréhension graphique : des modèles globaux aux théories plus spécifiques	16
I. Théories du modèle de communication	17
II. Le modèle computationnel de MARR	20
III. Les modèles de Kosslyn et Pinker	22
IV. La recherche en perception graphique	27
V. Le caractère cyclique du processus de compréhension graphique	29
VI. Rôle de l'expérience et influence des connaissances dans la compréhension graphique.	30
VII. Des modèles généralistes (Kosslyn, Pinker) trop simplistes ?	31
VIII. Conclusion de la partie	36
Partie 3 : Etude pratique : mise en place d'une méthode d'amélioration cartographique	37
I. Une méthode selon 3 niveaux d'analyse cartographique	37
A. Les variables visuelles	37
B. Le niveau hiérarchique	40
C. Le contenu de la carte	41
D. Représentation schématique des trois niveaux d'analyse	42

II. Mise en application de la méthode sur une carte des risques	43
A. Les variables visuelles	43
B. Le niveau hiérarchique.....	46
C. Le contenu	46
D. Conclusion de l'étude de cas	48
III. Conclusion	48
Conclusion Générale	49
Glossaire	50
Bibliographie	52
Table des illustrations	55

CITERES

UMR 6173

*Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés*

*Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement,
Paysage,
Environnement*



Département Aménagement
35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeurs de recherche :

BUTTIN Caroline

**SERRHINI Kamal
PALKA Gaëtan**

**Projet de Fin d'Etudes
DA5
2011-2012**

Titre : CONCEPTION CARTOGRAPHIQUE, Etude de l'Histoire, des théories et expérimentations cartographiques pour une meilleure conception de la carte

Résumé :

Depuis les années 50, le domaine de la cartographie a fortement évolué. De la discipline artistique à son affirmation en tant que science, la perception du rôle et de la conception de la carte se sont métamorphosées au fil du temps. Il est alors apparu que la processus de compréhension cartographique, aussi complexe qu'il soit, doit être compris si l'on souhaite concevoir des cartes de qualité.

L'essor du paradigme scientifique a engendré la naissance d'une nouvelle catégorie de recherches sur les processus de perception et de cognition mis en jeu lors de la compréhension graphique. Cependant, la carte reste fortement liée au contexte social, culturel et politique dans lequel elle s'inscrit.

Ainsi, dans une démarche d'amélioration de la carte, cette étude propose trois angles d'analyse (historique, théorique et expérimental, pratique) afin de cerner les différentes dimensions et implications à considérer lors de la conception cartographique.

MOTS-CLES : CARTOGRAPHIE, CARTE, PERCEPTION VISUELLE, PROCESSUS COGNITIF