



HAL
open science

La carte géographique dans le document composite

Éric Faurot

► **To cite this version:**

Éric Faurot. La carte géographique dans le document composite. Traitement des images [eess.IV].
Université de Caen, 2010. Français. NNT: . tel-01075407

HAL Id: tel-01075407

<https://hal.science/tel-01075407>

Submitted on 17 Oct 2014

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

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



Université de Caen
Basse-Normandie

Université de Caen/Basse-Normandie

U.F.R. Sciences

École doctorale SIMEM

THÈSE

présentée par

Éric FAUROT

et soutenue le 25 mars 2010

en vue de l'obtention du

Doctorat de l'Université de Caen

spécialité informatique

(Arrêté du 7 août 2006)

La carte géographique dans le document composite

Membres du jury

M. Jérôme GENSEL	Professeur	Université Pierre Mendès France, Grenoble 2	(rapporteur)
M. Jean-Marc OGIER	Professeur	Université de la Rochelle	(rapporteur)
M. Mauro GAIO	Professeur	Université de Pau et des Pays de l'Adour	
M. Patrice ENJALBERT	Professeur	Université de Caen	
Mme. Marinette REVENU	Professeur	ENSICAEN	(directrice)

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué en quelque manière à l'achèvement de ce travail :

Madame et Monsieur les Professeurs Marinette REVENU et Mauro GAIO pour leur encadrement,

Messieurs les Professeurs Jérôme GENSEL et Jean-Marc OGIER pour avoir bien voulu juger ce travail et en être les rapporteurs,

Monsieur le professeur Patrice ENJALBERT pour avoir bien voulu présider le jury,

Jacques Madelaine et Christine Porquet pour leurs conseils et leurs relectures,

ainsi que l'ensemble de ceux qui, collègues, amis, ont su apporter, chacun à sa façon, une petite pierre à l'édifice.

Je remercie également ma famille et mes proches qui m'ont soutenu, et tout particulièrement mon épouse pour avoir patiemment supporté toutes ces années.

« Le livre n'est pas une entité isolée : il est une relation, il est l'axe d'innombrables relations. »
Jorge Luis Borges

Table des matières

Table des figures	ix
-------------------	----

Introduction générale

I Cadre général	7
------------------------	----------

Chapitre 1

Information Géographique

9

1.1	Motivation	9
1.2	Point de vue du géographe	10
1.2.1	Éléments d'épistémologie	10
1.2.2	Métiers du géographe	12
1.2.3	Document géographique	13
1.2.4	Carte géographique	15
1.2.5	Conclusion	18
1.3	Information géographique en informatique	19
1.3.1	Systèmes d'information géographique	19
1.3.2	Infrastructures documentaires	22
1.3.3	Conclusion	24
1.4	Traitement sémantique des documents géographiques	25
1.4.1	Travaux sur le texte	25
1.4.2	Travaux portant sur la carte géographique	27
1.4.3	Conclusion sur les traitements informatiques	30
1.5	Quelques réflexions sur l'information géographique	31
1.5.1	Une définition de l'information géographique	31
1.5.2	Perception de l'espace géographique	31
1.5.3	Notion d'entité géoréférencée	32
1.5.4	Information géographique et document	33

1.6 Conclusion 33

Chapitre 2	
Multimodalité et Document	35

2.1 Motivation 35

2.2 Document numérique structuré 36

 2.2.1 Langage, écriture et document 36

 2.2.2 Typologie des documents 40

 2.2.3 Structuration des documents numériques 41

 2.2.4 Conclusion sur le document numérique 46

2.3 Notion de lien dans le document composite 48

 2.3.1 Lien et information 48

 2.3.2 Forme des liens dans le document 51

 2.3.3 Modélisation des liens dans le document numérique 52

 2.3.4 Génération automatique de liens 54

 2.3.5 Conclusion 56

2.4 Spécificité de l'image dans le document 58

 2.4.1 Codage des images 59

 2.4.2 Extraction d'information par le contenu 62

 2.4.3 Problème de la sémantique de l'image 65

 2.4.4 Conclusion 66

2.5 Exploitation de la multimodalité 66

 2.5.1 Notion de modalité 66

 2.5.2 Comment considérer une approche multimodale 68

 2.5.3 Différents travaux exploitant la multimodalité 70

2.6 Conclusion 72

Chapitre 3	
Information et Modalité : Sémiologie Graphique	77

3.1 Introduction 77

3.2 Modèle de l'information 78

3.3 Représentation graphique 81

3.4 Conclusion 84

Chapitre 4

Modèle de la carte thématique

87

4.1	Introduction	87
4.2	Proposition d'un modèle de carte	88
4.2.1	Aspect physique	88
4.2.2	Aspect graphique	89
4.2.3	Aspect logique	91
4.3	Étude de cas	94
4.3.1	Carte en aplats de couleurs	94
4.3.2	Carte en cercles proportionnels	98
4.3.3	Carte en cercles proportionnels colorés	101
4.3.4	Quelques autres cas	104
4.4	Entités géographiques et notion d'ancre	112
4.5	Extension à d'autres modalités	116
4.6	Conclusion	117

Chapitre 5

Mise en place d'une tâche de lecture de cartes

119

5.1	Motivation	119
5.1.1	Choix des questions	119
5.1.2	Choix des cartes	120
5.2	Protocole utilisé	121
5.2.1	Déroulement	121
5.2.2	Formulaire	121
5.3	Résultats	121
5.3.1	Temps de réponses	121
5.3.2	Répartition	122
5.3.3	Orientation	124
5.3.4	Contraste	125
5.3.5	Zones	126
5.4	Discussion	128
5.5	Conclusion	128

Chapitre 6	
Mise en œuvre informatique	131
6.1 Introduction	131
6.2 Cartex, une plate-forme exploratoire pour le document cartographique	132
6.2.1 Objectifs	132
6.2.2 Choix techniques retenus pour l'implémentation	133
6.2.3 Organisation de l'information dans la plate-forme	134
6.3 Problématique de la rétro-conversion	139
6.3.1 Principe général	139
6.3.2 Caractérisation de l'aspect physique	139
6.3.3 Reconstruction de l'aspect graphique	140
6.3.4 Reconstruction de l'aspect logique	141
6.4 Quelques approches pour l'interprétation	143
6.4.1 Identification des unités d'informations	143
6.4.2 Simplification du phénomène	144
6.4.3 Détermination d'une orientation	145
6.5 Application dans le contexte multi-modal	146
6.5.1 Liens entre composantes	147
6.5.2 Perspective d'une approche couplée	148
6.6 Conclusion	149
Conclusion et perspectives	151

Bibliographie	155
----------------------	------------

Annexe A	
Résultats de l'expérimentation	163

Annexes	163
----------------	------------

Annexe B	
DTDs	185

B.1 Aspect physique	185
B.2 Aspect graphique	186
B.3 Aspect logique	189

Table des figures

1.1	Le cycle de l'information géograpique	14
1.2	Différents types de cartes	17
1.3	Le principe des 5 A	20
1.4	Organisation en couches dans un SIG	21
1.5	Exemple de structures de traits	26
1.6	Le système MARCO : La légende apprise, une carte numérisée et la couche logique extraite	27
1.7	Une carte iconique comme celle de gauche simple peut être vue comme une expression dans un langage formel, tandis que l'ambiguïté dans l'organisation de la carte de droite exclut cette possibilité.	28
1.8	Les deux opérations sur les <i>cartes d'aspect</i>	29
1.9	Exemple d'interprétation : la carte originale en haut à gauche est simplifiée d'abord en ignorant son aspect tracé des lignes (en haut à droite), puis en simplifiant l'orientation et enfin en respectant les longueurs de ligne.	30
1.10	Articulation d'un entité géoréférencée	33
2.1	Documents composites	39
2.2	Structure arborescente d'un document de type SGML	44
2.3	Liens dans un ensemble d'hyperdocuments	50
2.4	Exemple de lien entre deux extraits de fichiers au format HTML	54
2.5	Codage d'une image <i>raster</i>	60
2.6	Codage d'une image <i>vectorielle</i> : un code SVG et un code POSTSCRIPT équivalents.	61
2.7	Exemple de document multimodal en biologie	74
2.8	Exemple de document géographique multimodal	75
3.1	Exemple 1 : PIB par habitant en France entre 1960 et 2003	79
3.2	Exemple 2 : PIB par habitant entre 1960 et 2003	80
3.3	Les variables visuelles	82
3.4	Groupes d'imposition	83
4.1	Aspect graphique	90
4.2	Aspect logique	92
4.3	Carte en aplats de couleurs	94
4.4	Carte en cercles proportionnels	98
4.5	Carte en cercles proportionnels colorés	102
4.6	Composante supplémentaire implicite	105
4.7	Carte présentant une typologie	107
4.8	Carte présentant deux légendes indépendantes	109

4.9	Carte de flux	112
4.10	Principe de construction d'un aplat	113
4.11	Principe de construction d'un cercle proportionnel	113
4.12	Modèle d'ancre unifié	115
4.13	Pyramide des âges	116
5.1	Interface du questionnaire	122
5.2	Temps de réponse par carte	123
5.3	Meilleure fréquence de réponse pour la répartition	123
5.4	Exemples de moins bon et meilleur consensus pour la répartition : cartes 3 et 54	124
5.5	Meilleure fréquence de réponse pour l'orientation	125
5.6	Exemples de moins bon et meilleur consensus pour l'orientation : cartes 29 et 18	125
5.7	Meilleure fréquence de réponse pour le contraste	126
5.8	Exemples de moins bon et meilleur consensus pour le contraste : cartes 5 et 51	126
5.9	Meilleure fréquence de réponse pour le nombre de zones	127
5.10	Exemples de moins bon et meilleur consensus pour le nombre de zones : cartes 36 et 28	127
6.1	L'ensemble des packages de la plate-forme	134
6.2	Package document	135
6.3	Modélisation des aspects flot et structure pour le texte	136
6.4	Un exemple de vue HTML	138
6.5	Modélisation du package géographie	139
6.6	Principe général de la rétro-conversion	140
6.7	Schéma de la reconstruction de l'aspect logique de la carte	142
6.8	Calcul de l'erreur pour l'identification	144
6.9	Exemple de simplification	145
6.10	Exemple de calcul d'orientation d'un phénomène sur une carte	146
6.11	Une carte et le texte associé	148
6.12	Contrastes suggérés par la carte, le texte et le croisement des deux	149

Introduction générale

Contexte et problématique

Les développements récents d'Internet et des *technologies de l'information* montrent, au delà des questions de formalisme et de convergence de structure, un besoin assez fort de sémantique pour la *recherche d'information* : moteurs de recherche intelligents, Web sémantique. Cela témoigne à notre avis d'une prise de conscience que le *tout données* ne suffit pas. Les données sont là mais encore faut-il les « comprendre » ; et les comprendre, c'est comprendre leurs formes et leurs usages, car nous savons au moins depuis Saussure, qu'il n'y a pas de sens sans point de vue ; nous sommes tout au moins disposé à en convenir. Dans ce contexte, il nous semble qu'une réflexion dans les domaines de la cognition doive accompagner le développement des outils techniques.

Le projet GéoSem s'inscrit dans ce courant de recherche en s'attachant à l'analyse fine de contenu de document géographique à la fois dans leurs composantes textuelles et imagées, en particulier cartographiques. L'objectif est de proposer des outils permettant à un lecteur-utilisateur de rechercher une information dans un ou des documents en fonction de critères sémantiques spécifiques, ici spatiaux et temporels. L'ambition à long terme est de disposer d'outils permettant d'exploiter de manière plus riche ces ensembles de documents, offrant des aides à la recombinaison de nouveaux documents sur la base de l'existant.

Objectif et démarche

Dans cette perspective, cette thèse porte en particulier sur l'étude de la composante cartographique, avec pour objectif de proposer des outils permettant de mettre en place des moteurs de recherche dans les documents géographiques prenant en compte, au delà de la composante textuelle, l'information véhiculée par les cartes géographiques. De tels outils, exploitant la richesse de la multimodalité, doivent permettre d'accéder au contenu des documents par le biais de *requêtes de haut niveau*, ou encore de proposer une *navigation assistée* dans l'ensemble du document.

Pour parvenir à ce résultat, nous nous intéressons à la nature de l'information géographique et aux formes spécifiques sous lesquelles elle apparaît dans les documents. Le but de cette étude est de déterminer et de caractériser les *structures* et *processus* sous-jacents dans le but de les opérationnaliser, l'hypothèse forte étant que cette opérationnalisation est rendue effective par la construction, au sein de ces documents, d'*hyperliens* exploitables à la fois par l'homme et par la machine.

Il nous semble que, pour envisager et justifier convenablement, c'est-à-dire de manière réaliste et pertinente, une approche multimodale sur le document numérique composite, aussi spécifique soit-elle dans ses finalités, il est nécessaire de revenir à des observations et des principes généraux sur le document et l'expression de l'information dans celui-ci.

Nous sommes bien sûr amenés à nous confronter au délicat problème du signe et du sens. Or nous ne sommes pas spécialiste de géographie, de linguistique ni de sémiotique. Il n'en reste pas moins que c'est nécessairement au croisement de ces domaines que se situe la problématique, et c'est la raison pour laquelle nous avons été amenés à nous y intéresser. Certaines parties de l'exposé peuvent en conséquence apparaître comme naïves, triviales, voire contestables, aux yeux du lecteur averti. Nous essayons de traiter la question d'un point de vue pragmatique, en soulevant plutôt les points qui nous semblent pertinents dans le cadre d'une application informatique, et sans prétendre à une quelconque vérité. Nous ne prétendons pas non plus à une connaissance exhaustive de ces disciplines.

Des réflexions plus poussées et plus abouties, peut-être contradictoires, en linguistique, sémiologie, et théorie de la communication ont été proposées par des auteurs plus spécialistes de ces domaines. Néanmoins il apparaît que peu de ces résultats théoriques, souvent complexes à appréhender, donnent lieu à des mises en œuvre informatiques, en tout cas dans le domaine de la recherche d'information. Les approches proposées en informatique nous semblent davantage être orientées par le matériau numérique, considéré dans sa dimension calculable, plutôt qu'issues d'une véritable réflexion sur la nature sémantique des documents eux-mêmes. Pour une part, cela est certainement dû à une difficulté évidente de passer d'abstractions théoriques à des réalisations concrètes, surtout dans le domaine de l'informatique où les structures formelles manipulables ne sont pas toujours à la hauteur des capacités conceptuelles de l'esprit. Mais il est aussi possible que ce besoin de rapprochement n'ait pas encore été clairement formulé, ou que les protagonistes n'aient pas été amenés à se poser la question explicitement.

La tâche semble pour le moins ambitieuse dans sa formulation. Cependant, nous ne prétendons pas faire des choses excessivement complexes, tant sur le plan technique que théorique. Nous souhaitons montrer, au contraire, comment la démarche peut permettre de conduire à des réalisations à la fois relativement simples à mettre en œuvre, et potentiellement riches dans leur application. Nous espérons que le traitement proposé de la question permet de rendre compte de la pertinence et de la cohérence de l'approche.

L'idée de fond qui sous-tend notre démarche est que l'information n'est pas de nature monadique. Elle ne constitue pas une quelconque entité dont le sens puisse être cristallisé dans une structure, ou un modèle. Elle n'est en fait qu'un point de vue, un processus, et elle ne se mesure qu'au comportement qu'elle engendre chez celui qui la reçoit, ou plutôt qui la reconstruit. Si celle-ci n'est pas une entité saisissable, en revanche son expression peut être caractérisée par les traces qu'elles laissent dans le réel. Dans le cas qui nous occupe, le document constitue la trace de l'information.

Plan du document

Chapitre premier

Le premier chapitre est une introduction générale à l'information géographique. Il propose en premier lieu une présentation de la géographie en tant que discipline. Ce chapitre présente également la notion d'information géographique, cette fois d'un point de vue plus spécifiquement informatique. Il est question en particulier des systèmes d'information géographique et de l'aspect formel de l'information dans ce type de système.

Le constat qui s'impose est que l'outil informatique propose une vision de l'information géographique qui est en décalage avec ce qui semble pertinent du point de vue du géographe, à savoir l'information distillée plutôt que formalisée, exprimée dans des documents produits et consommés plutôt que stockée dans des systèmes d'information structurés.

Le document, classique ou numérique, est donc vu comme un vecteur fondamental de l'information géographique. Ce type de document met clairement en jeu des éléments de natures différentes, en particulier textuelles et imagées, qui participent ensemble à véhiculer l'information. Il est dit « hétérogène » ou « composite ».

Chapitre deux

Le second chapitre est consacré au document composite. Nous décrivons le concept de document à la fois du point de vue général et dans sa forme numérique. Nous montrons la complexité de cette notion de document, en particulier dans sa dimension composite.

Nous proposons un point de vue transverse sur le document à travers le concept de « lien ». Cette notion de lien qui unifie en quelque sorte la nature physique ou virtuelle des documents ainsi que de ses composantes, nous semble être la nature profonde d'un document, constitutif de son fonctionnement en terme de vecteur d'information. Nous envisageons l'extraction de l'information comme l'explicitation de liens.

Dans la perspective de mettre en œuvre de tels liens dans un document composite, nous abordons la différence fondamentale entre le texte et l'image, et le problème de la sémantique de l'image. Pour traiter le cas de l'image nous définissons la notion de modalité, vue comme une manière de percevoir l'organisation d'un contenu, notamment à travers l'explicitation d'un système de signes capable de porter une information. C'est par ce biais qu'est envisagée la mobilisation de composantes non textuelles.

Chapitre trois

Le chapitre suivant présente, à la lumière des deux premiers chapitres, une synthèse de nos réflexions sur l'information géographique, ainsi que d'autres travaux ayant trait à cette problématique. L'objectif est notamment de se donner les moyens d'exploiter les cartes géographiques dans le contexte du document composite. Conformément à nos hypothèses, celle-ci doit être considérée comme une modalité, qu'il s'agit donc de décrire.

Pour ce faire, nous présentons une théorie sémiologique, sous l'angle de laquelle nous nous proposons d'envisager la question de la carte. Cette sémiologie offre un point de vue non ambigu et pertinent sur l'information contenue dans les composantes graphiques des documents.

Chapitre quatre

Le quatrième chapitre constitue le cœur de notre proposition. Nous décrivons un modèle de contenu pour la carte géographique, basé sur la théorie sémiologique présentée succinctement dans le chapitre précédent. De cette théorie, nous proposons un modèle informatique au travers duquel nous entendons considérer la carte thématique dans le document géographique composite. Ce modèle est illustré par plusieurs exemples, qui vont nous permettre de mettre en exergue sa généralité et de discuter les points délicats. Nous montrons en outre comment se retrouvent, dans ce modèle, les différentes notions développées dans les chapitres précédents.

Chapitre cinq

Ce chapitre présente une expérimentation sur la lecture de cartes géographiques effectuée dans le but d'observer la manière dont une carte est perçue par un lecteur. L'objectif est de disposer d'un corpus d'interprétations assez générales, afin d'une part, de constater qu'il y a bien une cohérence globale dans la perception qu'ont différentes personnes de la spatialité d'un phénomène exprimé sur une carte, et, d'autre part, d'évaluer dans quelle mesure les propositions discutées dans ce travail peuvent permettre de reproduire artificiellement cette perception.

Chapitre six

Le dernier chapitre est consacré à la réalisation, la mise en œuvre informatique du modèle décrit. Nous présentons une plate-forme exploratoire pour le document cartographique baptisée Cartex. L'objectif de celle-ci est de proposer une base pour développer des traitements selon les principes et autour des concepts décrits dans les chapitres précédents. ainsi que pour en évaluer la pertinence, notamment à travers la confrontation aux résultats de l'expérimentation décrite précédemment. Nous discutons les choix architecturaux pour la conception de cette plate-forme, ainsi que les options techniques retenues pour sa réalisation concrète. Celle-ci doit pouvoir être intégrée dans un système d'information plus général, en s'interfaçant notamment avec d'autres outils. Du point de vue fonctionnel, nous décrivons quelques opérateurs implémentés dans la plate-forme. La problématique première est celle de l'analyse de la carte, c'est-à-dire la rétro-conversion d'un document donné afin d'exprimer son contenu dans les modèles décrits dans le chapitre précédent. Nous décrivons le principe général ainsi que les particularités liées aux différentes sources. En outre, un certain nombre de traitements de types interprétatifs sont aussi présentés et discutés.

Première partie

Cadre général

Chapitre 1

Information Géographique

1.1 Motivation

Ce chapitre a pour objectif de présenter le cadre général de cette étude, en proposant notamment un regard d'ensemble sur la notion d'information géographique, en donnant un aperçu des différentes problématiques qui entourent cette notion. Nous avons choisi de nous intéresser à l'information géographique sous un angle pluri-disciplinaire en l'observant selon deux points de vue différents, celui du géographe d'une part et celui de l'informaticien d'autre part.

Nous commençons par considérer le point de vue du géographe. Après avoir donné quelques éléments épistémologiques sur la discipline, nous présentons succinctement quelques aspects de son activité. Nous introduisons ensuite la notion de document géographique et la cartographie. Cela nous permettra d'envisager la problématique du géographe sous l'angle du cycle de production d'information géographique. Nous en tirerons alors quelques conclusions intermédiaires sur la manière d'envisager la mise en place d'outils permettant d'assister le géographe dans son travail.

Nous observerons ensuite différents aspects de la géographie en informatique, les différents types de systèmes existants. Nous décrirons en particulier les systèmes d'information géographiques, ainsi que les atlas électroniques et quelques autres types d'infrastructure documentaire.

Nous terminerons ce chapitre par un ensemble d'observations qui vont nous permettre de préciser un peu la notion d'information géographique. Nous introduirons notamment la notion d'entité géoréférencée.

1.2 Point de vue du géographe

L'ensemble des activités humaines est fortement lié à l'espace, à sa connaissance, à sa maîtrise et à son organisation. Le savoir géographique, qu'il soit issu de l'expérience propre de l'espace ou d'un enseignement plus formel, est indispensable à l'homme : il lui sert pour s'orienter, pour exploiter son milieu naturel, pour maîtriser la contrainte de la distance, ou encore par simple curiosité pour le monde qui l'entoure. La géographie recouvre l'ensemble de ces connaissances liées à l'espace.

Cette section propose d'abord un bref résumé des développements de ce que constitue aujourd'hui la géographie. Vient ensuite une description des tenants et aboutissants du métier de géographe, de la manière dont il manipule l'information géographique. Finalement nous terminons par une présentation de quelques formes de documents géographiques.

1.2.1 Éléments d'épistémologie

D'une manière générale, le développement de la géographie est poussé davantage par les besoins de la société, que par la curiosité scientifique. En passant d'un mode d'organisation local, procédant essentiellement par délégation des responsabilités au niveau territorial (le seigneur et ses vassaux), à une gestion administrative centralisée par les États, les sociétés développent un besoin primordial de connaître et maîtriser leur espace.

Claval [Cla98] note que la difficulté de resituer la géographie en tant que discipline scientifique tient à la difficulté de percevoir la *rupture épistémologique*, qui définit une science en la séparant de sa forme vernaculaire, de sa pratique presque intuitive ou naturelle. Ainsi, si les réflexions sur l'espace sont très anciennes, la reconnaissance de la géographie en tant que sciences est relativement récente. La plupart des auteurs [BS91] s'accordent à penser que l'émergence de cette discipline est à mettre en perspective avec les travaux de Lamarck et Darwin sur l'évolution, qui, donnant naissance à l'écologie, auraient servi de déclic à la géographie.

Avant cette période, la géographie consistait surtout à rapporter une réalité observable du terrain : cartes pour la navigation maritime, cartes militaires, ou encore cartes illustrées des observations des naturalistes. À partir de 1870, un ensemble de facteurs conduit à une redéfinition de la géographie, et à la genèse de la géographie humaine. Tout d'abord la défaite de la France est imputée en partie à un déficit d'intelligence géographique et à son incapacité d'adapter sa pensée géostratégique aux développements techniques. En outre, l'organisation économique et l'évolution des transports que connaît la révolution industrielle incitent les différents acteurs politiques et économiques à s'intéresser à l'organisation de l'espace dans des optiques qui ne sont pas essentiellement navigationnelles. Finalement, l'engouement populaire pour les nombreuses connaissances nouvelles amenées par l'exploration du monde conduisent à repenser la manière

d'organiser ces connaissances.

Dans ce contexte naît en France une vision plus analytique de la géographie qui donnera lieu à la définition de la *géographie physique* et de la *géographie humaine*, étudiant les relations entre l'espace physique et l'organisation sociale notamment au moyen de la statistique et de mesures de densité. Parmi les précurseurs de cette discipline se trouvent Élisée Reclus ou Paul Vidal de La Blache, qui conduiront à la formation de l'école française de géographie. Dans sa démarche, ce dernier combine trois approches, qui resteront pendant longtemps le paradigme de la géographie : une approche descriptive du paysage, une approche positionnelle replaçant les objets dans leur contexte (relations « horizontales » entre entités géographiques), et une approche écologique analysant les influences réciproques entre l'homme et le milieu naturel (relations « verticales »).

La géographie se détache alors de la simple observation de la terre pour devenir une science sociale. Pendant plus d'un demi siècle, celle-ci continue sur ces fondements sans subir de véritable remise en question. La pratique s'élargit à de nouveaux objets d'étude mettant en valeur certains domaines, définissant ainsi quelques grandes spécialités de la géographie : géographie rurale, urbaine, historique, politique, sociale, culturelle, etc. L'objectif de cette géographie est de faire ressortir des configurations à partir de l'observation.

À partir des années 60, des remises en question sont nécessaires. La géographie est rattrapée par l'analyse économique et la sociologie, appréhendant mieux les outils statistiques et l'informatique naissante, et s'imposant comme disciplines principales pour les questions d'aménagement. La géographie cherche à se donner une plus grande crédibilité scientifique en allant au-delà de la simple analyse de situation pour aller vers la formulation d'hypothèses, la modélisation et l'interprétation de structures observées. Se développe alors l'utilisation de méthodes statistiques comme l'analyse factorielle, l'analyse spatiale, ainsi que des modèles théoriques ou sémiotiques propres à la géographie comme la notion de discontinuité dans une approche systémique et les chorèmes[Bru80] de Roger Brunet.

Les démarches très « sciences sociales » cherchant à modéliser les comportements humains, les réseaux de communication, les tissus urbains, qui furent adoptées durant ces années eurent paradoxalement tendance à faire disparaître les dimensions pourtant fondamentales de la géographie, à savoir les aspects physiques et biologiques, la perception du milieu dans lequel nous vivons. Les tendances environnementales et culturelles actuelles renouent en quelque sorte avec le naturalisme dont la géographie est issue. Si cette remarque peut sembler anecdotique, elle est en fait à mettre en parallèle avec ce qui nous semble être une tendance du traitement de la géographie en informatique, à savoir la tentation de restreindre la géographie à la seule géocalisation. Cette dérive inverse vers une géographie uniquement métrique, toujours plus précise, nous semble tout aussi dommageable.

Les éléments présentés ici ne donnent qu'un aperçu très succinct du développement de la

géographie en France. Pour plus de détails sur ces aspects, nous invitons le lecteur à se référer à des ouvrages plus complets [BF97a, BB98, Pin02, Rob92]. Nous allons nous appliquer dans la suite à présenter cette discipline à travers ses problématiques, ses procédés et ses usages, afin de caractériser le cycle l'information.

1.2.2 Métiers du géographe

Différentes disciplines

À l'heure actuelle, la géographie recouvre un grand nombre de spécialités, touchant à des domaines variés qui concernent l'ensemble des champs de connaissance, des problématiques, touchant de près ou de loin l'activité humaine. Il est tentant de penser qu'il n'existe pas *une* mais *des* géographies. La classification suivante est proposée dans le Grand Larousse Universel [Enc87].

- La *géographie appliquée* est la branche de la géographie qui vise à influencer l'aménagement d'un espace territorial donné.
- La *géographie économique* étudie les faits de production, d'échange et de transports, de consommation de biens matériels et de services.
- La *géographie humaine* est la branche qui étudie les faits de population, c'est-à-dire la localisation, l'évolution démographique et spatiale.
- La *géographie physique* regroupe les disciplines qui étudient les composantes du milieu naturel, dont par exemple la géomorphologie, la climatologie, l'hydrologie fluviale, l'océanographie, la biogéographie et la pédologie (étude du sol).
- La *géographie quantitative* est une orientation de la géographie faisant une grande place à la statistique et à la construction de modèles mathématiques.

À ces catégories peuvent s'ajouter, ou s'intégrer, d'autres éléments comme la géographie linguistique, la géographie politique, la *géographie des maladies*, etc.

Ce type de classification donne un aperçu assez large de l'ensemble des grandes problématiques de la géographie. Néanmoins cette catégorisation d'apparence stricte ne reflète pas nécessairement toutes les réalités de la pratique géographique. En effet, une des prérogatives du géographe est d'étudier l'organisation spatiale, les relations entre espaces, les corrélations entre leurs différentes caractéristiques. Cette étude procède nécessairement par croisement de phénomènes observés portant sur des problématiques différentes : il est clair que l'activité humaine et les organisations socio-économiques sont liées au milieu naturel et ont des conséquences sur ce milieu. « [l'environnement], c'est aussi le marché mondial des produits indispensables au fonctionnement des économies industrielles, qui appelle l'inventaire continuellement mis à jour des ressources fossiles et des ressources renouvelables. » [Geo02]. La place prépondérante que prennent actuellement les problématiques écologiques témoigne de la prise de conscience de l'importance de cette dualité, et démontre la nécessité de croisement de problématiques. En outre,

l'interprétation correcte de certains phénomènes observés en géographie humaine ne peut se faire qu'à la lumière des faits naturels. Un exemple trivial est l'incidence des zones montagneuses sur la répartition de la population.

Il se dégage ainsi une définition plus unifiée de la géographie [GV04] dans laquelle les relations étudiées sont définies dans des cadres spatiaux hiérarchisés, selon un principe d'emboîtement d'échelle essentiel en géographie. La *géographie générale* constitue l'échelle planétaire, la *géographie zonale* (on trouve aussi *régionale*) l'échelle continentale ou subcontinentale, et la *géographie locale, régionale ou urbaine* pour les échelles plus petites. L'étude des relations entre les espaces considérés à ces différentes échelles est alors basée sur deux types de données : d'une part celles qui ressortent du milieu naturel, constituant la *géographie physique*, et d'autre part les données qui sont liées à la présence de l'homme et à l'activité humaine, relevant de la *géographie humaine*.

Différents métiers

Cette variété de disciplines, ainsi que la variété de ses champs d'application, impliquent que la géographie recouvre en fait une grande diversité de métiers s'y rattachant. Il existe en France, selon Brunet [BFT92], quatre métiers de la géographie :

- Les géographes s'intéressant principalement à la géodésie, à la construction de cartes topographiques et à la constitution de modèles numériques de terrains. Ceux-ci sont formés à École Nationale des Sciences Géographiques et travaillent à l'Institut Géographique National.
- Les géographes formés à l'université et qui se consacrent à l'enseignement à différents niveaux dans l'éducation ;
- Les universitaires chercheurs, chargés en outre d'enseignement à l'université ou travaillant dans des organismes de recherche comme le CNRS.
- Finalement, les géographes travaillant dans des bureaux d'études, des organismes administratifs, des collectivités, ou des entreprises. Ils ne font ni enseignement ni recherche ; leur rôle est de conduire des études pour l'aide à la décision dans différents cadres, comme par exemple l'aménagement. Il s'agit de la géographie dite *appliquée*.

1.2.3 Document géographique

Le document géographique est le produit du travail du géographe. Il est aussi le matériau de base qui lui permet de réaliser ces études et de produire de nouveaux documents. Le terme de document géographique englobe tout un ensemble de type d'ouvrages, parmi lesquels nous pouvons citer par exemple les manuels scolaires, atlas thématiques, et tout type de rapports ou d'études qui peuvent être produits par le géographe.

Plus que du fait de sa forme précise, nous dirons qu'un document est géographique de par le processus de sa construction et la manière dont l'information est exprimée.

Cycle de l'information géographique

L'essentiel de l'activité d'un géographe dans son travail d'étude et de construction d'atlas thématiques pourrait se résumer à deux types de questionnement :

- Comment un phénomène se traduit-il dans un espace donné ?
- Quels sont les espaces engendrés par l'observation d'un phénomène ?

Celles-ci l'amènent à mettre en œuvre un cycle de l'information géographique présenté par la figure 1.1.

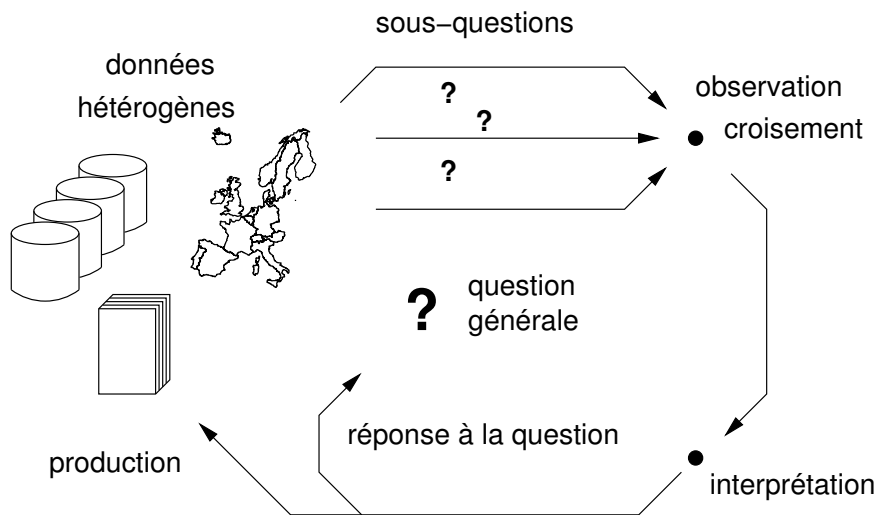


FIGURE 1.1 – Le cycle de l'information géographique

La problématique de son étude constitue la question centrale à laquelle il se propose de répondre, l'hypothèse qu'il souhaite valider. Celle-ci est d'abord décomposée en sous-questions qui permettent de préciser les limites de l'étude et de déterminer l'ensemble des données pertinentes dans ce cadre afin de répondre à la question. Les données utilisées peuvent être de toutes sortes, allant de données dites *brutes*¹ à des documents déjà existants.

Une fois rassemblées, ces données sont ensuite observées et croisées au cours du processus d'analyse. Ce processus aboutit à la construction d'une interprétation, par laquelle le géographe montre et explique la spatialisation du phénomène, ce qui constitue la réponse au problème

1. Notons que les données sont toujours plus ou moins interprétées : une enquête peut être vue comme une donnée brute, mais le choix de l'enquête, du sujet, de la formulation, de son mode de réalisation, induisent nécessairement un biais. D'une certaine manière, la donnée brute n'existe pas, elle est une mesure artificielle créée selon un point de vue.

initialement posé. Cette réponse prend alors la forme d'un nouveau document au sens large, qui vient enrichir l'ensemble de la connaissance géographique.

Différentes formes de l'expression de l'information

L'observation de ce type de document montre que le géographe utilise, dans la construction de son discours, une grande variété de modes d'expression, de manières de représenter l'information. Parmi les plus courantes, nous trouvons bien évidemment le texte pour décrire et expliquer, les tableaux et les graphiques pour représenter synthétiquement et précisément des données, et, bien sûr les cartes. Ajoutons aussi à cette liste un mode de représentation très spécifique à la géographie, le chorème[Bru86], que l'on pourrait définir comme une abstraction visuelle de l'organisation d'un espace.

La nécessité de disposer de ces différents outils pour représenter l'information dans les documents géographiques tient certainement au fait que l'information géographique est elle-même complexe et multiforme, se déclinant en un ensemble d'aspects plutôt que traduisant une réalité univoque. Par analogie, la représentation d'une donnée multivaluée sur le plan impose l'utilisation d'une projection particulière de cette donnée, et donc le choix d'un point de vue, permettant de faire ressortir tel ou tel aspect de la donnée. Ces différentes représentations correspondent ainsi à plusieurs flexions d'une réalité complexe. Certaines rendent mieux compte de la dynamique, d'autres mettent plus en avant la spatialité.

D'une manière générale les données statistiques brutes, très utilisées en géographie pour construire des études, ne sont pas immédiatement parlantes, et requièrent une étape d'analyse afin de faire ressortir une tendance. Il est nécessaire de les présenter de manière plus expressive afin qu'elles aient un impact sur un public donné. Les données manipulées dans ce cadre étant souvent géolocalisées, la carte est un moyen souvent utilisé.

Dans le chapitre suivant, nous discuterons de la place des différentes représentations, que nous appellerons *modalités*, dans le document.

1.2.4 Carte géographique

La carte est évidemment un mode de représentation privilégié dans le document géographique, de par sa capacité intrinsèque à exprimer la spatialité, composante essentielle de l'information géographique. La carte est donc intimement liée à la géographie, et si la cartographie et la géographie sont aujourd'hui perçues comme des disciplines différentes, les deux termes sont en fait synonymes jusqu'au début du XIX^e siècle [Pin92].

Repères historiques

Des tablettes d'argiles datant de trente siècles avant J.C. représentant des contours et des itinéraires montrent que les premières ébauches de cartes seraient antérieures à l'écriture. Les premières cartes de navigation sont le fait des phéniciens et l'on retrouve chez les égyptiens les premiers cadastres. Mais le développement de la cartographie commence réellement à l'antiquité, grâce aux travaux mathématiques des savants grecs introduisant les premières notions de géodésie (latitude et longitude) et de projection.

Au Moyen Âge et à la Renaissance, les progrès scientifiques en astronomie et en mathématiques, ainsi que les entreprises d'exploration contribuent à améliorer et préciser les connaissances géographiques et les représentations du monde. À partir du XVII^e siècle, des cartes détaillées du territoire sont requises pour des besoins administratifs et militaires. Cela pousse le développement de la géodésie et de la topographie. La première carte géométrique de la France voit le jour au milieu du XVIII^e siècle. Il s'agit de la carte dite de Cassini, divisant la France en cent-quatre-vingt-deux feuilles. Les derniers relevés sont effectués à la fin du XVIII^e siècle et les dernières planches sont publiées en 1812.

Jusqu'à l'époque actuelle, le but essentiel de la cartographie est de représenter précisément et objectivement les objets réels de l'espace géographique. Les techniques actuelles de géolocalisation permettent d'effectuer rapidement des relevés extrêmement précis. Parallèlement se développe la cartographie dite thématique, qui apparaît dès le début du XVI^e siècle. Mais son essor réel aura lieu dans la deuxième moitié du XVI^e siècle, en même temps que sont constitués les fondements de la géographie en tant que science.

Typologie des cartes

Dans sa définition la plus générale, la carte est une représentation de la terre ou d'une partie de celle-ci à une échelle réduite. Il existe en fait de nombreux types de cartes traduisant la diversité des usages qui y sont liés et des problématiques de leur production. Brunet, Ferras et Théry [BFT92] proposent la typologie suivante :

- les cartes *topographiques*, qui servent à représenter le relief, l'hydrographie, les lieux habités, les voies de communication, la toponymie. Ces cartes servent principalement pour l'orientation dans divers contextes : militaire, aménagement, voyage (les cartes routières) ou encore sportif. De telles cartes s'attachent à représenter « *fidèlement* » la réalité géométrique et topologique du terrain. Cette activité [Lib62] a longtemps constitué le champ principal de la cartographie, vue comme la discipline visant à relever et représenter précisément la surface de la terre.
- les cartes *thématiques*, qui permettent de représenter la distribution spatiale d'un phéno-

mène à partir de données statistiques. C'est ce type de carte particulier qui nous intéresse dans cette étude. Selon les auteurs sus-cités, l'imagerie satellite entre aussi dans cette catégorie.

- les cartes *régionales*, qui donnent une image plus ou moins détaillée d'un territoire et de ce que l'on peut y trouver, sans souci avéré de précision. Elle peuvent avoir un caractère informatif ou décoratif.
- les *cartes-modèles*. Ce sont des cartes beaucoup plus schématiques qui servent à représenter par exemple l'organisation d'un réseau.
- les formes nouvelles de cartes, utilisant notamment les moyens offerts par l'informatique en terme de visualisation. Dans cette catégorie, on trouve les cartes en anamorphose qui « trichent » avec la réalité géométrique, ou encore les cartes en trois dimensions, les cartes animées, etc.



FIGURE 1.2 – Différents types de cartes

Conclusion sur la carte

La carte est en premier lieu un matériau de base pour l'analyse d'un phénomène. Le géographe cartographie un phénomène, observe la carte, la confronte à d'autres cartes. Il construit son interprétation d'après cette observation et les corrélations effectuées avec d'autres phénomènes. Il observe et caractérise les espaces ainsi construits, met en évidence des structures émergentes, et finalement construit son information, son document, en cartographiant l'interprétation qu'il fait de l'ensemble de ces observations.

La carte est donc aussi un document produit par le géographe, comme résumé d'une interprétation, comme démonstration d'une hypothèse. Elle s'inscrit ainsi dans le discours géographique porté par le document en tant que structure rhétorique. Elle appuie d'autant mieux ce qui est développé dans le texte qu'elle est extrêmement visuelle : elle peut donner l'effet de constituer une vérité irréfutable car directement « observable ». Au contraire, un texte apparaît *a priori* plus immédiatement au lecteur comme une construction rhétorique, comme l'expression du point de vue de l'auteur, et donc sujet à débat.

Notons également que la carte a fait l'objet d'un certain nombre de travaux théoriques en communication. Parmi ceux-ci, notons [Rob85], [MR92] et [Car00].

1.2.5 Conclusion

L'activité du géographe, en particulier en géographie humaine, consiste à observer et expliquer la manière dont des phénomènes thématiques mesurables s'inscrivent dans l'espace.

Il est amené à produire des documents composites, qui sont l'aboutissement de sa réflexion. Ces documents sont construits comme une compilation de données interprétées, données brutes ou autres documents existants. Ce processus donne lieu à ce que nous avons décrit comme un cycle de l'information géographique.

De ces observations, nous pouvons donc d'ores et déjà tirer deux conclusions immédiates.

- Les documents géographiques sont par nature porteurs d'une information géographique. Ils sont un vecteur entre une information produite et une information qui en sera déduite.
- Les documents géographiques expriment cette information à travers des formes diverses. La carte géographique en est notamment un support privilégié.

Ainsi chercher à valoriser l'information géographique contenue dans ces documents peut être vu comme un accompagnement de ce processus cyclique de production d'information. Il s'agit donc de pouvoir proposer :

- une aide à la collecte de données pertinentes pour une problématique,
- une aide à l'analyse et à l'interprétation de ces données,

– une aide à la production de documents.

Cela nécessite donc de disposer d'outils capables de manipuler la sémantique géographique pertinente pour le géographe, et d'aller chercher cette sémantique dans les documents existants. La section suivante est consacrée aux concepts informatiques touchant à la géographie.

1.3 Information géographique en informatique

Dans cette section nous passons en revue différentes manières dont la géographie est souvent appréhendée d'un point de vue informatique. Nous commençons par les systèmes d'information géographique, puis nous nous tournerons vers les atlas électroniques, les annuaires et enfin la cartographie numérique.

1.3.1 Systèmes d'information géographique

Les systèmes d'information géographique (SIG ou GIS en anglais) sont omniprésents dans les sociétés actuelles. Ils jouent un rôle prépondérant dans tous les domaines pour lesquels les prises de décision impliquent une intelligence géostratégique : économie, santé publique, administration, sciences, défense.

L'émergence des systèmes d'information géographique résulte de la convergence entre deux évolutions : d'une part, la nécessité de disposer d'outils permettant de manipuler les aspects géographiques des données en vue de leur exploitation pour l'aide à la décision ; d'autre part, les progrès techniques, notamment en terme d'acquisition (relevés GPS, photographie satellitaire), de stockage, de transmission, de capacité de calcul et de visualisation, qui permettent de mettre en valeur la dimension géographique ou spatiale des données.

Définition d'un système d'information géographique

Les SIG correspondent plus à une idée générale, à des outils appropriés à certains usages, qu'à une définition formelle stricte. Un SIG est avant tout un système d'information, c'est-à-dire, selon l'ISO², un « système de communication permettant de communiquer et de traiter l'information ». En conséquence, la spécificité du SIG est qu'il gère des informations ayant une composante géographique, c'est-à-dire d'un point de vue étymologique, des informations localisées sur le globe.

Les SIGs ont en fait deux aspects. Le premier est l'aspect technique. Il regroupe l'ensemble des modèles et outils informatiques qui permettent leur mise en œuvre. Le développement in-

2. *International Standards Organization*

formatique des SIG a largement reposé sur le domaine des bases de données relationnelles, en définissant notamment des types de données spécifiquement géographiques (il s'agit en fait principalement de donnée géométriques[Fra96]) et des opérateurs sur ceux-ci, ainsi que des outils de visualisation. Le second aspect est l'aspect fonctionnel, antérieur dans sa problématique à l'aspect technique, qui a conduit à rationaliser en quelque sorte la manière de manipuler l'information géographique dans un but d'aide à la décision.

Ces deux aspects donnent donc lieu à des définitions multiples : Pour le FICCDC³, il s'agit d'un « système informatique de matériels, de logiciels et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion ». Michel Didier [Did90] en donne la définition suivante : « Ensemble de données repérées dans l'espace structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision. »

D'un manière générale, un système est un SIG s'il offre des fonctionnalités recouvrant l'ensemble des cinq principes fondamentaux, connus sous la dénomination des « 5 A »[DS04] et schématisés par la figure 1.3. Il doit permettre l'Acquisition des données et leur Archivage. Il doit en outre permettre leur manipulation à des fins d'Analyse spatiale, ainsi que leur Affichage. La cohérence du tout est assurée par une modélisation du réel, l'Abstraction.

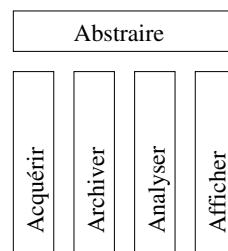


FIGURE 1.3 – Le principe des 5 A

Organisation de l'information dans les SIGs

Un système d'information géographique regroupe un ensemble de données qui peuvent être très diverses, mais qui ont comme socle commun le fait d'être géolocalisées. Cette implantation géographique est considérée comme centrale car elle est liée à notre monde physique, et donc indépendante de toute thématique. Ainsi, les données sont organisées autour de l'espace géographique selon une structure en couches, comme présentée à la figure 1.4.

Chacune des couches correspond à une abstraction schématique d'un aspect du monde réel. Le choix de ces aspects et de ces abstractions dépend évidemment du cadre applicatif : c'est

3. Comité fédéral de coordination inter-agences pour la cartographie numérique (États-Unis)

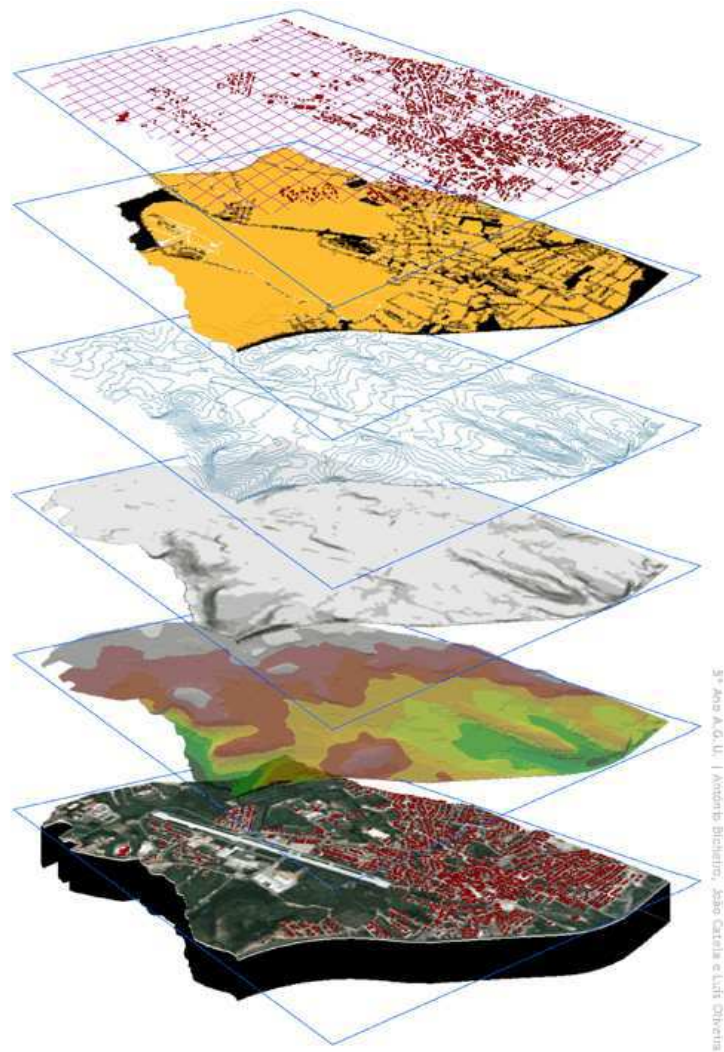


FIGURE 1.4 – Organisation en couches dans un SIG

le problème de la modélisation du système d'information. De manière très analogue à ce qui se passe dans le cas de l'image, la composante géolocalisée des données présentes dans ces couches peut être de deux natures, vectorielles ou en maillage.

Dans le modèle vectoriel, les entités géolocalisées sont données dans leur dimension géométrique. Cela suppose de définir pour un cadre applicatif donné, un ensemble de concepts pertinents et isolés, qui vont correspondre à des entités (on trouve souvent le terme anglais *feature*) ayant une géométrie, souvent en deux dimensions. En voici quelques exemples : un réseau routier peut être modélisé comme un ensemble de tronçons interconnectés, la géométrie de chaque tronçon étant donnée par une ligne brisée ; en aménagement du territoire, les zones de forêts, les étendues d'eau, les espaces cultivés vont plutôt être représentés par des polygones. Outre sa géométrie propre, chaque entité de la couche peut être associée à des données thématiques, telles qu'un

toponyme ou autre. On parle de méta-données.

Les maillages sont utilisés dans le cas de concepts qui ne correspondent pas à des *objets* séparables du monde, mais qui représentent une distribution, une mesure d'un phénomène sur l'espace continu. C'est principalement le cas des modèles numériques de terrain (MNT) donnant une représentation topographique d'une zone où chaque point de l'espace a une altitude. On distingue plusieurs catégories de maillage, selon leur forme (carré, hexagonal, triangulaire) et leur régularité. Les maillages peuvent être vus comme des sous-catégories des *couvertures* (les fonctions de l'espace géographique dans un espace thématique) pour lesquels l'espace géographique est discrétisé, les valeurs thématiques étant données pour quelques points seulement.

1.3.2 Infrastructures documentaires

Bien que les systèmes d'information géographique constituent le principal point de convergence entre l'informatique et la géographie, l'aspect géographique de l'information apparaît aussi sous d'autres formes. Nous nous intéressons à trois d'entre elles : les atlas électroniques, les annuaires et la cartographie numérique.

Atlas électroniques

Ils peuvent être des versions électroniques d'atlas traditionnels papier, ou des ensembles documentaires conçus et produits directement pour une utilisation sur un support numérique. Leur conception et leur entretien est un travail collaboratif auquel participent plusieurs acteurs : les géographes qui rédigent les articles et construisent les cartes, les relecteurs qui vérifient la cohérence globale de l'information, les éventuels traducteurs, et les informaticiens qui apportent leur savoir-faire technique pour la mise en œuvre technique.

Les atlas électroniques sont souvent basés sur des infrastructures documentaires de type *web*. Ceux-ci permettent de gérer le stockage et l'indexation des données d'une part, et la présentation par l'intermédiaire d'une page web. Turbout[Tur02] propose le système *OhRAGE* qui implémente un tel système.

Une des caractéristiques de ce type d'atlas par rapport une version papier est que les cycles de mise à jour sont très différents. La correction ou l'ajout de nouveaux documents se fait de manière continue. L'ensemble documentaire est donc en constante évolution.

Une autre différence est la possibilité de consulter les documents de manière non linéaire. Si le parcours peut suivre un sommaire défini par l'équipe éditoriale, elle peut aussi se faire par l'intermédiaire d'une requête sur des méta-données associées aux documents, comme par exemple un ensemble de mots-clés, ou un intervalle temporel.

L'atlas Transmanche⁴ est une illustration de ce type de document. Il propose un ensemble d'articles et de cartes traitant de différentes thématiques socio-économiques. L'objectif de cet atlas est de caractériser l'organisation et les dynamiques de l'espace trans-frontalier que constituent le nord-ouest de la France et le sud de l'Angleterre.

Annuaire, *gazetteers*

Dans le domaine de l'informatique documentaire, la composante géographique de l'information est bien souvent réduite à une problématique de géo-localisation [Hil00]. La démarche est de construire des dictionnaires ou annuaires géoréférencés associant une localisation à une entité nommée ou toponyme. Ces annuaires sont connus en anglais sous le terme de *gazetteer*. Outre une localisation, ils peuvent parfois contenir d'autres données thématiques, telles que la population pour les agglomérations, ou d'autres données statistiques.

Bien que ce type d'annuaires constituent dans une certaine mesure un système d'information ayant une composante spécifiquement géographique, ils ne sont pas considérés comme des SIGS comme définis ci-dessus. Tout d'abord, l'aspect géographique est limité à une simple géolocalisation donnée sous forme de latitude/longitude. Le système ne gère pas de concepts spatiaux plus élaborés. En conséquence, le système n'offre pas en lui-même de moyen d'analyse non seulement spatiale, mais statistique en général. Finalement, les autres données associées aux entrées sont faiblement structurées, et servent plus de référence que de réelle base à des applications analytiques.

Voici quelques exemples de *gazetteers* disponibles en ligne :

- la base de données GEONAMES (<http://www.geonames.org/>) contient plus de huit millions de toponymes associés à presque sept millions de lieux. Outre le nom des lieux, la base contient quelques métadonnées comme la géolocalisation, l'altitude, la population, le découpage administratif et le code postal. Le système propose également une interface de type *services web*.
- le NIMA (National Imagery and Mapping Agency, <http://www.nima.mil/gns/html/>) maintient une base importante de données statistiques sur plus de trois millions et demi de lieux dans le monde.
- <http://www.fallingrain.com/world/> propose un annuaire contenant près de trois millions de toponymes sur le monde entier. La localisation est présentée sur une carte.
- <http://www.census.gov/cgi-bin/gazetteer> propose les données des recensements de la population aux États-Unis.

Ce type d'annuaires est notamment utilisé à des fins d'indexation et de référencement relativement simples, ou dans le but de proposer des services de géolocalisation. Ils peuvent aussi constituer des entrepôts de données diverses, utilisables par le géographe comme matière pre-

4. <http://atlas-transmanche.certic.unicaen.fr/>

mière dans son travail de production, c'est le cas notamment de l'*entrepôt de données géographiques*[LPTM01]. Cependant ils ne relèvent pas en général d'une réflexion plus poussée sur l'information géographique, en particulier sur la sémantique que le géographe est amené à manipuler.

Cartographie numérique

Les développements techniques, en particulier des réseaux et des possibilités de visualisation, ainsi que la grande quantité de données géoréférencées disponibles, ont donné lieu à la démocratisation des applications de cartographie dynamique sur l'internet. Celles-ci permettent à l'utilisateur de naviguer de manière intuitive et interactive dans un espace géographique.

C'est aussi ce type d'outils que l'on retrouve dans les systèmes de guidage embarqué, qui, couplés à des dispositifs de géolocalisation de type *GPS (Global Positionning System)* permettent d'afficher en temps réel des informations de positionnement et d'itinéraires.

Ces outils sont à rapprocher, dans une certaine mesure, des SIGs, si ce n'est qu'ils n'offrent souvent pas de possibilités avancées de requête ou d'analyse. Ils fonctionnent plutôt sur un mode exploratoire dans un espace construit en cours de navigation, donnant un aspect un peu *volatile* à l'information. Là où les SIGs sont associés à l'idée d'une information cohérente, structurée, suivie bien *cadrée*, ces systèmes mettent à profit une dynamique de réseau, où l'information est répartie et la carte construite par agrégation de données issues de sources différentes et non liées entre elles de manière formelle.

Parmi les nombreuses applications disponibles en ligne nous pouvons citer notamment *Google Maps*⁵, *Via Michelin*⁶ qui sont typiques de ce type d'outils.

1.3.3 Conclusion

Les outils informatiques tels que les systèmes d'information géographique, permettent le stockage, la recherche et la manipulation de données structurées intégrant une composante spatiale géométrique. Ils offrent en outre des possibilités riches en terme de visualisation. Dans le cadre d'applications spécifiques, couplés à des modèles dynamiques, ils sont essentiels pour l'analyse et la simulation. Ils constituent donc une aide précieuse à la construction de documents à partir de données dites brutes ou fortement structurées. En revanche ils ne permettent pas, en tant que tels, de répondre à des requêtes d'un niveau sémantique complexe tels que les géographes peuvent être amenés à les formuler, ni de procéder à une rétro-analyse de document nécessaire pour répondre à nos attentes en terme de recherche d'information.

5. <http://maps.google.com/>

6. <http://www.viamichelin.fr/>

En tant que documents structurés réalisés par des géographes les atlas seraient les principaux bénéficiaires de la mise en place d'outils performants exploitant une sémantique géographique. Tout d'abord en aval de la production, en permettant une valorisation de ces documents, notamment de par les possibilités d'indexation, de recherche avancée, d'enrichissement de contenu, de parcours transverses, etc. Mais de tels outils pourraient également fournir une aide dans la composition et le suivi de ces atlas par le géographe lui-même.

1.4 Traitement sémantique des documents géographiques

Dans cette section, nous présentons différents travaux visant à exploiter la sémantique spécifiquement géographique de ce type de documents. Nous nous intéressons d'abord à des travaux axés sur la composante textuelle des documents, puis nous décrivons des propositions portant sur la carte géographique.

1.4.1 Travaux sur le texte

La plupart des travaux informatiques portant sur la sémantique des documents géographiques abordent ces derniers par le texte. Les implications en terme de modèles et d'analyses linguistiques peuvent être complexes, mais le matériau lui-même est abondant et relativement simple à manipuler d'un point de vue purement technique.

Une proposition déjà ancienne mais cherchant spécifiquement à exploiter la composante géographique d'un document est le système GIPSY [WP94] du projet Sequoia 2000 [LPHW95]. Ce système propose une indexation spatiale d'un document textuel en cherchant à géolocaliser certains passages du texte. Le principe général est le suivant :

1. rechercher dans le texte les passages correspondant à des entités géographiques ;
2. associer des coordonnées à ces passages en utilisant un thésaurus ;
3. ajouter ces coordonnées de manière à obtenir une carte représentant la topographie conceptuelle du texte. Les entités les plus pertinentes se retrouvent sur cette carte à une altitude globalement élevée.
4. indexer le document en ne gardant que les points culminants de cette carte, après une étape de seuillage.

Dans le même ordre d'idée, Malandain [MG99, Mal00] propose une modélisation plus fine des entités géographiques exprimées dans le texte par des syntagmes nominaux. Il distingue les sept classes d'entités suivantes :

1. directe et précise : l'entité est directement nommée et fait référence à un objet dont la définition est précise : *«le Finistère»*
2. directe et imprécise : l'entité est aussi nommée mais l'objet considéré n'a pas de frontière stricte : *«le littoral de la Manche»*
3. indirecte et imprécise : L'entité est définie indirectement par référence à une autre entité. Ses frontières sont là aussi imprécises : *«le nord de Caen»*
4. indirecte et imprécise avec référence implicite. L'entité de référence n'est pas explicite mais sous-entendue : *«le sud» (de la France)*
5. nécessitant une connaissance spécifique : l'entité est définie par une assertion requérant une interprétation grâce à des connaissances de domaines spécifiques.
6. définie comme une construction géométrique utilisant d'autres entités géoréférencées. Exemple : *«un triangle Paris-Lille-Rouen»*
7. énumération d'entités. Exemple : *«Paris et Lyon»*

Il propose en outre un mode de représentation pour ces entités selon trois axes : la distance, la granularité et l'orientation.

Une autre modélisation des expressions spatiales est proposée dans le cadre du projet GéoSem [BHDB⁺03, BCEM03]. Un analyseur spatial permet de repérer des structures syntaxiques dénotant des zones géoréférencées, et de traduire ces structures en structures symboliques récursives dite «structures de traits» (figure 1.5) exploitables dans le cadre d'une indexation de segments de texte.

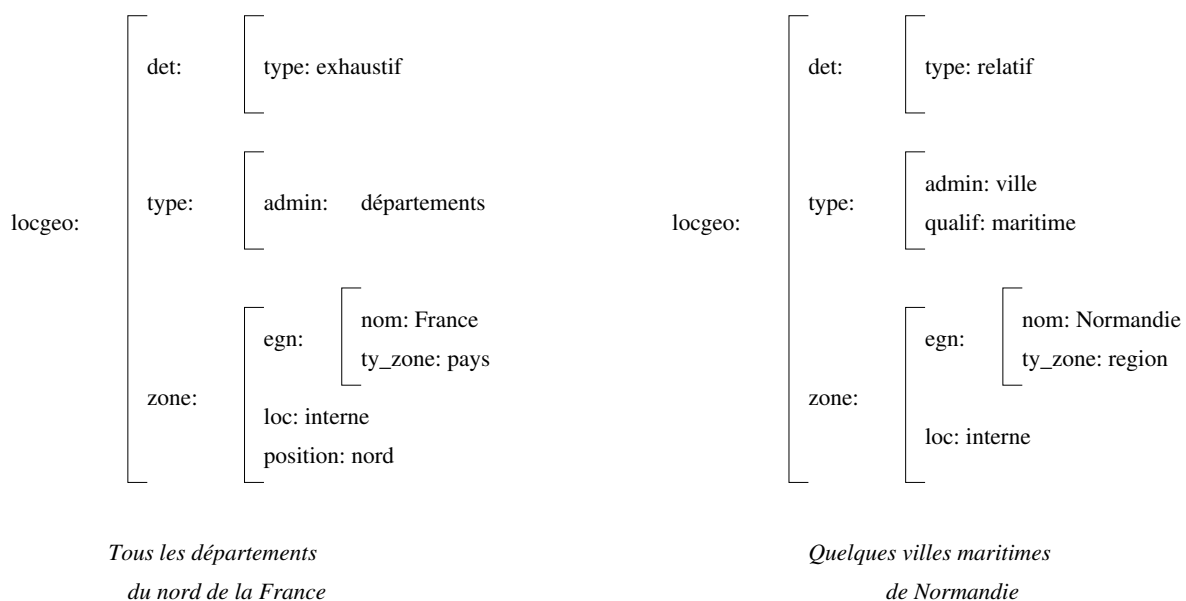


FIGURE 1.5 – Exemple de structures de traits

1.4.2 Travaux portant sur la carte géographique

Nous présentons maintenant quelques travaux plus spécifiquement liés à la carte.

Système MARCO

Samet et Soffer[SS96, SS98] proposent un système baptisé MARCO (*MAP Retrieval by Content*) servant à acquérir, stocker et indexer des cartes données sous forme d'images numérisées. L'objectif est de pouvoir retrouver des fragments de cartes par l'information qu'elles contiennent, en répondant par exemple à des requêtes comme «*L'ensemble des images (parties de cartes) contenant un camping situé à moins de 3 miles d'un site de pêche.*»

Le système est composé d'un module d'acquisition MAGELLAN (*Map Acquisition of Geographic Labels by Legend*), d'une base de données contenant à la fois les cartes et leur représentation logique, et d'un module de requête permettant à l'utilisateur de formuler ses requêtes. Le système d'acquisition connaît, par apprentissage supervisé, un certain nombre de symboles auxquels est associée une valeur sémantique dans la base (hôtel, bureau de poste, vue remarquable, etc.). Les cartes données en entrée sont découpées en régions et traitées afin de détecter ces symboles (figure 1.6). Ceci permet d'alimenter le système d'indexation, et donc de retrouver les fragments de carte contenant les symboles, ou combinaison de symboles, répondant à la requête de l'utilisateur.



FIGURE 1.6 – Le système MARCO : La légende apprise, une carte numérisée et la couche logique extraite

Pratt et la sémantique de la carte

Dans une réflexion d'ordre plus théorique dépassant quelque peu le cadre très applicatif des travaux présentés précédemment, sans toutefois entrer entièrement dans le champ de la psychologie cognitive, Pratt[Pra93] se pose la question de savoir s'il existe une sémantique de la carte (*Map Semantics*) qui puisse être comparable à la sémantique au sens linguistique, et, si oui, quelle forme peut-elle avoir.

Il pose comme définition de la sémantique d'un langage, l'ensemble des règles permettant d'expliciter le sens d'une expression donnée dans ce langage, ce qui revient selon lui à établir les conditions permettant de donner une valeur de vérité à une telle expression. Il ramène donc la sémantique à la logique des prédicats, et s'attache à esquisser un formalisme pour une carte qu'il considère comme un ensemble de formules de la forme $X + (x, y)$ qui est vrai si un objet géographique de type X (*le substantif*) se trouve à la position (x, y) (*locatif*). Il montre comment la logique des prédicats permet d'effectuer des raisonnements cohérents sur des cartes iconiques simples (figure 1.7 gauche), c'est-à-dire des cartes indiquant simplement la position d'entités typées.

Il se penche alors sur le cas de cartes topologiques (figure 1.7 droite) dans lesquelles la surface est implicitement signifiante. En prenant l'exemple d'une carte très simple présentant des îles et des lacs, il montre que celle-ci ne peut pas être exprimée selon une structure syntaxique qui lui serait propre, mais que la structure nécessaire au calcul dépend nécessairement de la manière dont la carte est utilisée dans un processus de raisonnement donné (ici une recherche de chemin entre deux points).

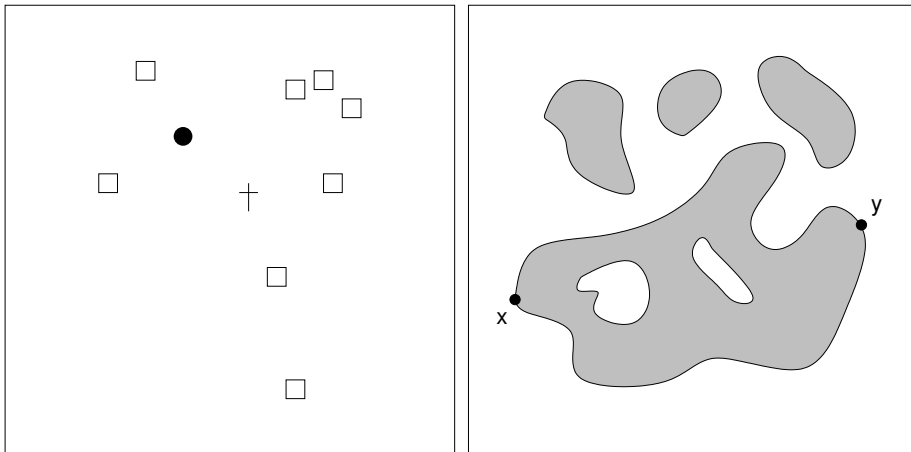


FIGURE 1.7 – Une carte iconique comme celle de gauche simple peut être vue comme une expression dans un langage formel, tandis que l'ambiguïté dans l'organisation de la carte de droite exclut cette possibilité.

Pour Pratt, une carte ne répond pas à la nécessité pour les langages formels de disposer d'une structure syntaxique non ambiguë et de pouvoir décomposer toute expression de manière canonique dans ce langage. Il en conclut qu'une carte n'a pas de sémantique intrinsèque.

Aspect maps de Barkowski et Freska

Tandis que Pratt[Pra93] aborde la question de la sémantique de la carte d'un point de vue logique, Barkowski et Freska[BF97b, BBFK98] s'y intéressent d'un point de vue cognitif.

Ils notent qu'une carte peut être vue comme une projection de données géographiques dans laquelle les entités représentées sont remplacées par des interprétations symboliques de celle-ci. Une carte revêt donc des aspects à la fois géométriques, topologiques et symboliques qui sont en concurrence pour s'exprimer sur le plan. En fonction du type de carte considérée, certains de ces aspects prennent plus ou moins d'importance : la contrainte de précision géométrique est moins forte sur un plan de métro que sur une carte topographique. Il considère qu'interpréter une carte revient à reconstruire une nouvelle carte dans laquelle sont mis en avant les aspects essentiels permettant de répondre à la question donnée. Par exemple, trouver son chemin dans un réseau de transport public peut revenir à reconstruire une carte schématique ne faisant apparaître que la séquence du trajet à effectuer pour se rendre à un point donné.

Un système cognitif construit selon leur modèle opère sur des *cartes d'aspect* (*Aspect maps*). Une *carte d'aspect* est formellement définie comme un triplet $\langle E, R, M \rangle$ où E sont des entités cartographiques, R un ensemble de relations portant sur ces entités et spécifiées par l'image picturale, et M la connaissance permettant de connecter ces entités et leur relations à un ensemble de connaissances spatiales formelles appelées *aspects*. Le système permet deux types d'opérations (illustrés par la figure 1.8) sur ces cartes d'aspects : l'extraction qui consiste à recréer une nouvelle carte à partir d'une carte donnée, et la combinaison qui consiste à créer une nouvelle carte par composition des aspects de plusieurs cartes. Chacune de ces opérations implique un processus en trois étapes : d'abord l'*évaluation* permettant d'extraire de la carte les informations pertinentes pour effectuer la tâche, l'*inférence* qui permet de construire un nouveau contenu formel correspondant à l'interprétation de ou des carte(s) dans le cadre de la tâche donnée, et enfin la *visualisation* qui consiste à ré-exprimer sous forme picturale la nouvelle carte obtenue.

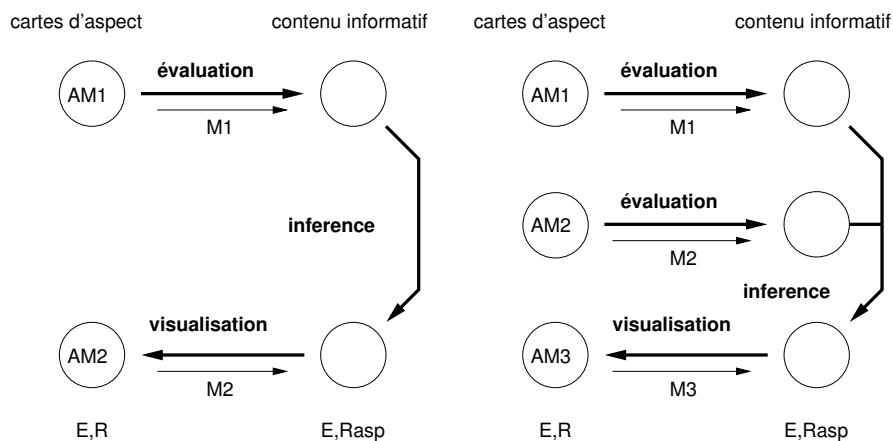


FIGURE 1.8 – Les deux opérations sur les *cartes d'aspect*

Afin d'illustrer leur modèle, ils donnent l'exemple d'un plan de réseau de transport, présentant des lignes reliant des stations. Dans ce contexte, les entités E sont les stations et les lignes, et les aspects considérés sont les suivants :

- la position exacte des stations : elle est importante pour permettre la localisation d'une station dans une ville,
- l'orientation entre les stations au sens cardinal : elle est également importante pour le repérage sur la carte,
- la distance entre les stations à vol d'oiseau : celle-ci peut-être connue dès lors que leur position est elle-même connue, mais elle constitue un aspect indépendant,
- les extrémités des lignes, qui coïncident avec la position des stations qui sont connectées,
- l'orientation entre les stations, ici en terme de sens de parcours de la ligne,
- le tracé exact ; celui-ci est de moindre importance dans ce cadre puisque le plan de transport se veut schématique.
- la longueur de la ligne ; là encore donnée indépendamment du tracé lui-même.

La première carte de la figure 1.9 est la carte originale. Une première extraction (seconde carte de la figure) consiste à ignorer le tracé exact des lignes. La troisième carte présente une ré-interprétation de l'original en exigeant une simplification de l'orientation entre les stations, en passant d'un modèle continu à un modèle limité à 8 directions imposées. Enfin, la dernière reprend cette simplification mais en donnant une priorité plus forte au respect des longueurs.

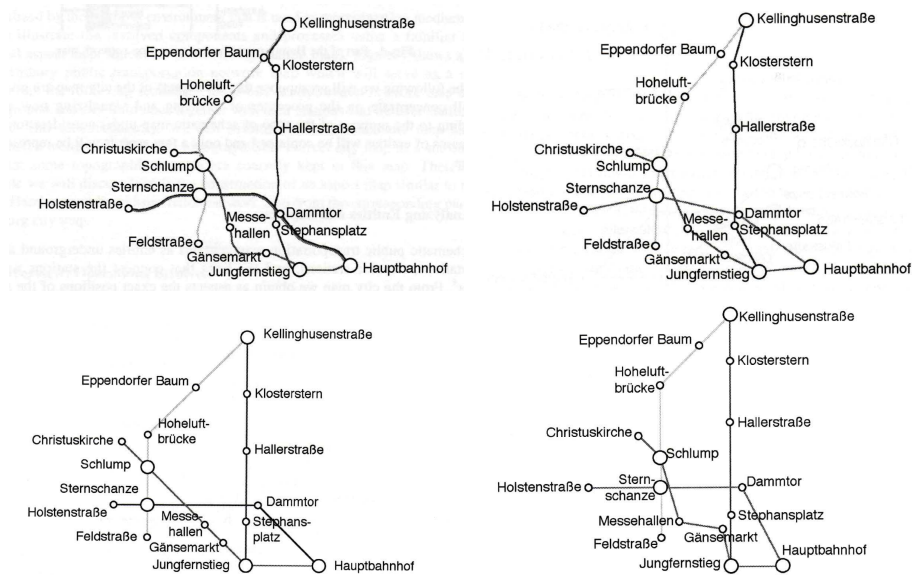


FIGURE 1.9 – Exemple d'interprétation : la carte originale en haut à gauche est simplifiée d'abord en ignorant son aspect tracé des lignes (en haut à droite), puis en simplifiant l'orientation et enfin en respectant les longueurs de ligne.

1.4.3 Conclusion sur les traitements informatiques

Outre ceux que nous avons présentés ici, il existe un grand nombre de travaux se rattachant de près ou de loin à une problématique géographique. Devant la grande diversité de ceux-ci, il

apparaît difficile de synthétiser ce que l'on pourrait appeler un état de l'art dans ce *domaine*. Nous pouvons néanmoins formuler deux observations qui nous semblent assez caractéristiques de l'ensemble de ces travaux.

D'abord sur le fond, nous notons que beaucoup d'entre eux s'avèrent être plutôt d'ordre spatial que réellement géographique, au sens où l'entendent les géographes. Nous gageons que cela est dû au fait que si des sémantiques du spatial peuvent être formalisées assez aisément (voir notamment [CH01]) et donc donner lieu à une opérationnalisation, il semble plus délicat de décrire ce que serait une sémantique du *géographique*.

Ensuite, du point de vue de la forme, nous notons que peu de travaux abordent le problème sous l'angle du document géographique vu comme un vecteur multi-forme d'information. Les objets d'études sont bien souvent liés à un *média* donné, souvent autonome et ne s'inscrivant pas naturellement dans un ensemble documentaire hétérogène.

1.5 Quelques réflexions sur l'information géographique

1.5.1 Une définition de l'information géographique

Si pour de nombreuses applications les concepts géographiques manipulés sont bien définis, il est difficile de percevoir l'information géographique, dans le contexte qui nous intéresse, comme quelque chose de modélisable en tant que tel d'un point de vue informatique. C'est en effet une notion complexe qui peut s'aborder sous de multiples points de vue. Qu'est-ce qui caractérise ce type d'information? Gaio[Gai01] en donne la définition suivante :

«L'information géographique est un processus cognitif (acquisition, interprétation/raisonnement, expression), guidé par des contextes et des usages s'appliquant à des observations portées sur des entités localisées dans un espace géographique, afin d'en restreindre les interprétations possibles.»

Cette définition de l'information géographique vue comme un processus cognitif est à mettre en parallèle avec le cycle de l'information géographique développé plus haut. On retrouve ici les trois étapes du cycle : acquisition, interprétation, expression. Elle fait en outre apparaître les concepts d'espace géographique et d'entité géoréférencée. Nous précisons ces notions dans les sections suivantes.

1.5.2 Perception de l'espace géographique

Egenhofer[EM95] pose les bases d'un champ d'étude visant à formaliser les concepts d'une géographie «naïve», qui représenterait la perception de l'espace géographique par tout un chacun,

dans son expérience du monde. Il note en particulier que l'homme perçoit l'espace comme plan et illimité, et les concepts utilisés pour penser l'espace varient grandement selon les cas de figures : espaces cognitifs et espaces perceptuels, espace discret ou continu. Globalement la dimension métrique de l'espace est de moindre importance que sa dimension topologique.

Dans le domaine de la psychologie on retrouve chez Moles[MÉR72, Mol92] cette idée que la notion d'espace géographique est avant tout liée à notre perception des choses, plus qu'à une réalité tangible : «C'est par rapport à lui-même que l'homme appréhende ainsi autour de lui les différentes catégories de l'espace plein ou vide : volume du frigo, largeur de la rue... Il se réfère, en tout cas intuitivement, au corps humain, son propre corps comme étalon approximatif mais spontané, du rapport qui va s'exercer entre lui et les objets du monde. Ce n'est qu'après, dans une relation rationnelle et un souci de précision, qu'il va retraduire ces notions de longueur, profondeur..., toutes liées à l'espace, à des unités métriques.»

La géographe Loew-Pellen[LP01] en donne elle aussi une définition illustrant parfaitement le caractère flou de l'espace géographique : «Cet espace, cher au géographe, est une notion floue et ambiguë, parce que le terme d'espace est polysémique, l'espace peut être physique, matériel, pensé, rêvé, idéalisé, perçu, ressenti, pratiqué, vécu, à vivre, autant de qualificatifs qui confortent cette polysémie. L'espace géographique est avant tout le support de la société, il est le contenant qui se construit et se nourrit des apports avec son contenu...»

En conclusion nous dirons que l'espace géographique, loin des modèles géométriques qui reflètent assez mal notre manière de penser l'espace géographique, est en fait défini par ce qu'on observe.

1.5.3 Notion d'entité géoréférencée

Les entités géoréférencées peuvent être vues comme des éléments constitutifs d'un espace géographique qui les contient. Elles peuvent être de natures très variées, tangibles (comme une route) ou virtuelles (une zone administrative).

L'entité géoréférencée n'est pas le géoréférencement lui-même. Il s'agit en fait de l'espace signifié. D'une manière générale, on considère qu'il s'articule autour de trois axes : temporel, spatial et thématique tels que représenté à la figure 1.10. Ce sont tous les espaces au sens large ainsi caractérisés qui sont appelés entités géoréférencées. Celles-ci ne décrivent pas nécessairement un espace absolu existant ou délimitable, mais correspondent à des objets ayant un sens dans leur contexte d'évocation.

Notons que si ces entités sont contenues dans des espaces, elles peuvent constituer elles-mêmes des espaces. Cette caractéristique récursive est connue sous le nom d'emboîtement d'échelle.

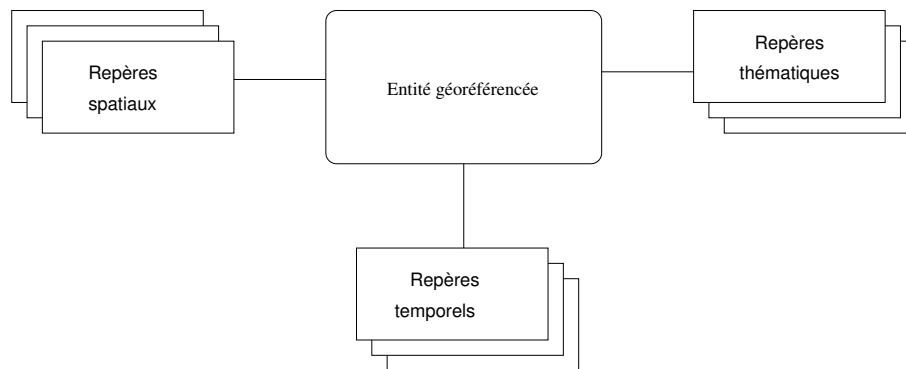


FIGURE 1.10 – Articulation d’une entité géoréférencée

1.5.4 Information géographique et document

La définition proposée pour l’information géographique permet de mettre en lumière la manière dont nous devons appréhender la sémantique dans les documents géographiques. Ces documents expriment au sens large des espaces et des entités géoréférencées constitutifs de ces espaces. Ils montrent et expliquent la manière dont sont organisés ses espaces.

Nous ne disposons pas d’un modèle formel de contenu permettant d’explicitier ces entités, mais nous savons que dans l’ensemble des composantes du document, elle seront caractérisées par le croisement de critères thématiques, spatiaux, et dans une moindre mesure temporels.

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons commencé par présenter la problématique de la géographie du point de vue du géographe. Après quelques rappels historiques, nous avons décrit succinctement l’activité du géographe, en mettant notamment en avant son rôle de compilation et de production de connaissance sous forme de documents.

Nous nous sommes ensuite intéressés à la manière dont la géographie apparaît en informatique. Les SIGs et les outils afférents comme la cartographie dynamique sont bien sûr omniprésents. Néanmoins, s’ils constituent une source importante dans le processus de production de corpus géographique, une grande partie de l’information et de la connaissance géographique se trouve compilée dans des atlas, numériques ou non.

Puisque nous nous intéressons à l’exploitation de cette information, nous avons passé en revue quelques travaux liés au traitement sémantique sur ce type de corpus. Nous avons montré que ces travaux étaient en fait liés à des problématiques assez spécifiques, rarement liés à l’activité effective du géographe dans le cycle de production de l’information.

Cela nous a amené à nous interroger sur ce qui caractérise l'information géographique telle qu'elle est manipulée par les géographes, et nous en avons donné quelques traits. Si ceci constitue en quelque sorte le fond de notre problématique, le chapitre suivant sera consacré à la forme, à savoir le document numérique composite.

Nous envisageons en effet l'information géographique dans le cadre de la sémantique du document numérique, en travaillant plutôt sur la manière dont cette information est exprimée dans les documents, sur les formes particulières sous lesquelles vont se retrouver les différents concepts et principes évoqués plus haut. Les applications concrètes qui peuvent être proposées s'inscrivent dans le cadre d'usages identifiés, en connaissance de ces principes et en étant conscient des limites intrinsèques des modélisations utilisées.

Chapitre 2

Multimodalité et Document

2.1 Motivation

Ce chapitre a pour objectif de préciser la notion de document composite tel que nous proposons de l'aborder, en donnant un aperçu des différentes problématiques qui entourent cette notion, et en soulevant en particulier la question de la multimodalité qui, malgré son rôle apparemment essentiel dans la restitution d'une information, constitue une problématique relativement récente en informatique.

Plus qu'un état de l'art dans un domaine précis, ce chapitre constitue véritablement le cœur de notre réflexion. Nous y décrivons un éventail de problématiques qui, constituant de grands thèmes de recherche, sont souvent traitées séparément. Notre objectif n'est pas de porter un regard critique sur chacun d'eux individuellement, mais plutôt de mettre en perspective ces domaines et de les replacer dans un cadre plus général. Nous proposons donc une lecture transverse de ces thèmes, permettant à la fois au lecteur non expert de comprendre ce dont il s'agit, et de montrer quels sont les aspects qui nous semblent pertinents par rapport à notre problématique. C'est à travers cette lecture que nous expliquons et justifions notre approche. C'est dans la mise en perspective de ces thématiques que s'inscrit la cohérence globale de notre propos.

Faire une analyse fine du contenu informatif des documents composites impose de s'interroger sur la nature même de ces documents : ce qu'ils sont dans leur forme physique, dans leur forme informatique, et dans leur rôle essentiel de vecteur d'information. Les deux aspects qui nous semblent fondamentaux dans la notion de document, qu'il soit numérique ou « réel », sont les questions de *modalités* et de *liens*. La modalité, c'est la forme sous laquelle l'information est présentée ; le lien, c'est ce qui relie ces formes et qui permet au lecteur de construire un sens. C'est donc au travers de ces deux notions que nous nous proposons d'aborder la question du document.

Nous commençons par un aperçu de ce que recouvre le terme de document à la fois à travers des aspects historiques et des considérations pratiques. Nous nous pencherons plus en détail sur la notion de document numérique, pendant virtuel du document physique.

Nous nous intéressons ensuite à la notion de lien au sein des documents. Nous précisons quels sont les différents types de liens qu'il est possible de considérer, comment ces liens s'expriment dans les documents.

Puis nous décrivons la problématique spécifique de l'image dans le document multi-modal. Qu'est-ce qu'une image au sens informatique ? Comment peut-elle être abordée en terme de sémantique ?

Ce chapitre se termine par un retour sur la notion de multimodalité. Après en avoir donné une définition, ou tout au moins l'idée d'une définition dans notre cadre, nous présentons à travers des exemples concrets en quoi l'exploitation de cette multimodalité peut permettre d'enrichir et d'améliorer les tâches d'extraction et de recherche d'information.

2.2 Document numérique structuré

Le document numérique structuré constitue le cadre général du travail présenté ici. Avant d'en détailler les caractéristiques, nous commençons par préciser la notion de document, en insistant notamment sur l'aspect composite mêlant texte et image. Nous donnons ensuite quelques éléments de typologie, puis nous évoquons la problématique de la recherche d'information. La dernière partie de cette section est consacrée plus en détail à la structuration informatique des documents numériques.

2.2.1 Langage, écriture et document

La notion de document nous est familière. S'il est aisé de dire si un objet donné constitue un document, définir la notion, la cerner précisément s'avère excessivement délicat, les choses les plus communes étant les plus difficiles à expliquer puisqu'elles « coulent de source ». Nous commençons donc par en examiner les définitions courantes qui, bien que relativement vagues et généralistes, permettent d'ores et déjà de faire ressortir certains aspects essentiels.

Le Robert donne la définition suivante : « Document : Écrit servant de preuve ou de renseignement » Selon l' U.F.O.D. (Union Française des Organismes de Documentation) est appelée *document* « toute base de connaissance fixée matériellement, susceptible d'être utilisée pour consultation, étude ou preuve ». Nous rappelons en outre l'étymologie latine du mot lui-même : *documentum*, « Ce qui sert à instruire ».

Nous retenons de ces définitions deux facettes qui apparaissent comme étant communes à la grande variété des objets que nous appellerions de manière usuelle « documents ». Il y a tout d'abord la notion de matérialité, de fixation sur un support immuable ; le document est consultable à tout moment et donc intemporel. La deuxième notion est celle d'information : le document a un usage. Il peut servir de mémoire, de référence, de base d'apprentissage. Il est le véhicule d'une information ou d'une idée.

Le concept de document est ainsi fortement associé à l'idée d'écriture, c'est-à-dire la transcription sur un support physique du langage parlé, par lequel est principalement porté le sens dans la communication humaine. Cette transcription du langage oral est même, selon Ferdinand de Saussure, l'unique raison d'être de l'écriture. L'oralité a d'ailleurs longtemps été le principal véhicule de la communication humaine ; elle est restée le mode privilégié de transmission avant que l'écriture ne s'impose. La parole joue toujours un rôle important dans les relations humaines, aussi bien dans des domaines administratifs que spirituels ; elle dispose d'une force performative particulière, d'une vertu liturgique dans bien des sociétés. Le « Verbe » est essentiel à la civilisation du « Livre ». Vandendorpe fait remarquer [Van01] que dans l'antiquité, les Romains et les Grecs ne concevaient la lecture que dans le but d'oraliser des textes, préférant même se faire lire les textes par des esclaves. En outre, il est intéressant de constater que de nombreux auteurs ont, à travers l'histoire, remis en question la prééminence de l'écriture. Dans *Phèdre*, Platon fait dire au roi Thamous que l'écriture « produira l'oubli dans les âmes en leur faisant négliger la mémoire », et qu'avec elle, les hommes auront la « présomption de la science, et non la science elle-même ». Dans son *Essai sur l'origine des langues*, Rousseau écrit : « Les langues sont faites pour être parlées, l'écriture ne sert que de supplément à la parole ». Nous noterons finalement que dans l'éducation, le principe de la lecture à haute voix comme finalité n'a été remis en question qu'au milieu du xx^e siècle.

Néanmoins, il s'avère que la matérialisation du langage a joué un rôle considérable dans l'histoire des civilisations. Christin [Chr02] voit même dans ce passage à l'écrit une forme d'émancipation, puisque cette matérialisation du langage permet aux hommes de s'approprier la communication par l'image qui était jusqu'alors réservée aux messages venus des dieux et révélés à quelques initiés, devins ou prophètes. D'un point de vue plus pragmatique, et comme le fait remarquer Vandendorpe [Van99], l'écrit permet au lecteur de s'affranchir de trois contraintes inhérentes à la communication orale :

- il peut choisir le temps de la communication : la permanence du support n'impose pas un moment spécifique à la lecture ;
- il peut choisir le rythme de lecture : étant le seul acteur impliqué dans le processus de communication, il choisit la vitesse à laquelle il assimile l'information ;
- il dispose de la possibilité de sélectionner l'information qui l'intéresse, sortant ainsi de la linéarité imposée par la parole.

Ces constatations sont illustrées par la révolution unanimement reconnue comme telle qu'a

constitué le codex, entre le 1^{er} et le IV^e siècle, en se substituant au rouleau de papyrus. Ainsi des premières tablettes sumériennes en écriture pictographique au document électronique moderne, l'histoire du document est à la fois l'histoire des écritures et celle des supports : abstraction de la langue par l'alphabet phonographique grec, lui-même emprunté aux phéniciens ; développement du papier comme support privilégié de l'écriture ; invention de l'imprimerie. Toutes ces découvertes ont concouru à faciliter la circulation et la diffusion des idées.

Mais plus qu'à l'écriture elle-même, c'est en fait au document que les propriétés énoncées par Vandendorpe semblent s'attacher, c'est-à-dire à la nature physique, permanente et intemporelle du support. De ce fait, la notion d'information et de communication dans les documents ne se conçoit pas uniquement par l'écriture, vue comme une transcription évidente de la langue, mais de manière plus large par l'interaction (la *lecture*) avec un support sur lequel est mis en œuvre un système de signes permettant de véhiculer un message. Parmi les exemples relativement évidents nous pouvons citer le symbolisme mathématique, ou encore le système de notation musicale. Le même support peut servir à retranscrire une information qui n'est pas d'ordre purement linguistique. Plus intéressant, l'exemple des *quipus* incas [Sal01] : ce langage visuel destiné aux enregistrements comptables a été développé dans une société sans écriture.

Nous pouvons alors aborder le document, d'un point de vue général, comme l'usage d'un support pour véhiculer un contenu. Dans le cas de l'écriture le support est l'image. Christin [Chr01] souligne « l'importance de la *prise visuelle* impliquée par l'écriture ». Même l'abstraction que constitue l'alphabet ne prend corps que sous forme de taches sur des surfaces. La notion d'image est donc présente dans le document écrit, qui ne nous apparaît finalement que comme telle. La mise en page d'un texte s'appuie nécessairement sur des éléments visuels, des variations indispensables, des cassures dans la surface : espacements, typographie des titres, séparation en paragraphes, mise en valeur par l'italique, etc.

L'image est donc omniprésente dans le type de document auquel nous nous attachons, le document visuel. Enluminures dans les livres et manuscrits au Moyen-âge, schémas dans les livres pédagogiques et publications scientifiques, photographies dans la presse quotidienne. Les exemples sont nombreux dans lesquels le texte seul ne constitue pas à lui seul le document, mais où d'autres « types d'images » font partie intégrante de celui-ci. Nous parlons alors de document composite, c'est-à-dire constitué d'un ensemble plus ou moins organisé d'éléments de natures différentes qui composent le document. Par « nature » nous entendons ici la sémiotique dont ils relèvent. Le point commun entre ces éléments est qu'ils partagent le même support, ici la page, en s'y inscrivant de manière concurrentielle.

Bien sûr, il existe de nombreux cas où la distinction entre ces éléments est délicate, notamment quand le message repose fortement sur l'interpénétration des différents systèmes de signes : subtil équilibre entre calligraphie et poésie dans la peinture chinoise, ou encore dans les *Calligrammes* d'Appolinaire. C'est en général le cas dans tous les domaines de la communication

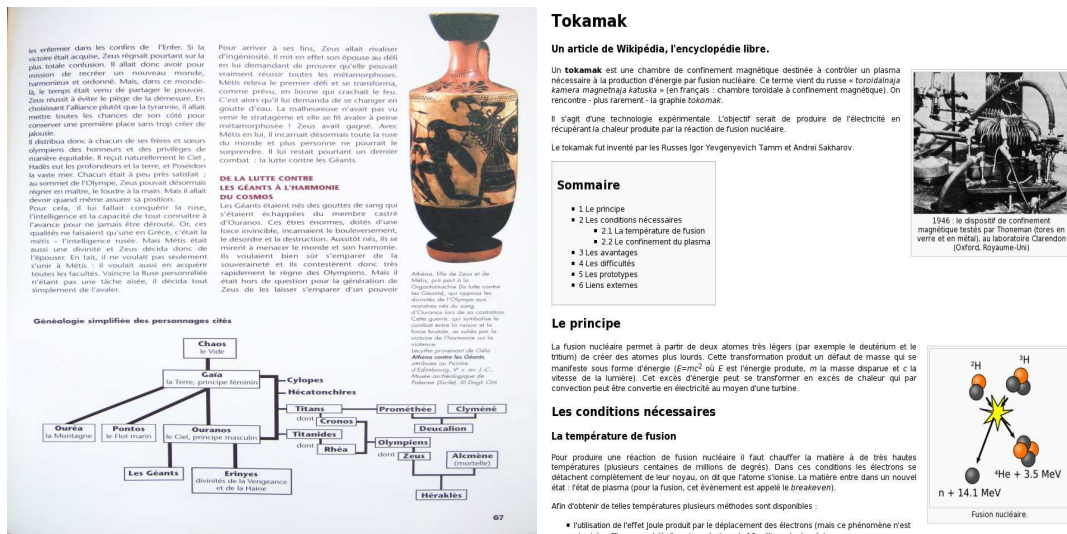


FIGURE 2.1 – Documents composites

visuelle ou du *design* graphique, tel que le *packaging*, l’affichage, la publicité, etc. En ce qui concerne les publications plus didactiques et discursives tels que les manuels scolaires, le caractère nécessairement plus rationnel de la construction fait que cette séparation est plus prononcée. Une hypothèse qui guide notre travail est que, dans le document, l’information, la sémantique, n’est pas isolée, mais se dégage d’un ensemble de relations entre différentes composantes.

Des exemples concrets de documents composites sont illustrés par la figure 2.1.

Dans sa forme numérique, le document semble avoir trouvé son support ultime, à la fois paroxystique et paradoxal. Paroxystique puisqu’il est le support par excellence : souple, aisément transmissible, permanent, inaltérable, duplicable à volonté. Mais aussi paradoxal car il est « non-support », dématérialisé, invisible, sans consistance, et volatile. Assez curieusement, l’idée du document comme fixation d’une information sur un support matériel prend encore une nouvelle dimension avec la dématérialisation. La particularité du document numérique est qu’il permet d’une part de présenter les contenus de différentes manières. Le document n’a d’existence sensible que lorsqu’il est rematérialisé, peut-être de manière éphémère, pour les besoins d’une lecture. D’autre part il rend possible l’automatisation des tâches de traitement de ces contenus. Mais sous l’apparente souplesse de l’outil numérique, se cache en fait l’extrême rigueur du formalisme. Si l’abstraction alphabétique de la langue semble singulièrement bien adaptée à ce support, ce n’est en revanche pas nécessairement le cas pour les autres formes de contenus, notamment visuels ou sonores. Le document numérique impose de disposer d’une structure pour l’information.

Nous terminons sur une définition que donnent André et Quint [AQ90] et qui nous semble bien refléter le caractère très général du document, même si la restriction à l’écrit est contestable : *on peut appeler « document » le contenu de ce que l’on produit, distribue, utilise ou garde lors*

d'un processus de communication écrite ou électronique.

2.2.2 Typologie des documents

La notion de document telle que nous l'avons présentée ici recouvre naturellement un ensemble très vaste de situations et de domaines, dans le cadre desquels le document prend un sens plus restreint, plus concret, renvoyant ainsi à des objets précis. Enregistrement musical, film vidéo, photographie, sont des exemples de documents. Si l'on se restreint plus spécifiquement à ce qui est écrit, l'éventail des possibilités reste extrêmement vaste : facture, relevé de compte, lettre, partition musicale, dépêche d'information. Par ailleurs, dans les domaines juridiques ou administratifs, le terme de document désigne des éléments dont la forme est souvent très précise et qui ont un rôle bien défini : document comptable, passeport, etc.

Les documents vont être présentés sous des formes extrêmement variables qui dépendent, d'une part du domaine et de leur finalité, et d'autre part du public visé. Il est donc impossible de définir une typologie recouvrant de manière unique l'ensemble des documents possibles. Nous présentons plutôt quelques éléments qui peuvent constituer des axes autour desquels peuvent être construites des typologies :

- nature ou domaine : le contexte dans lequel le document peut apparaître, le cadre dans lequel et pour lequel il est a priori créé,
- portée sémantique : quel type d'information est contenu dans le document, simple inventaire, référencement, discours construit, message esthétique, etc.
- présentation ou structure : la manière dont peut être structuré le contenu logique et physique du document,
- support : le média sur lequel est inscrite l'information, par exemple le papier, une bande magnétique, etc.

Nous détaillons quelques exemples de typologies proposées dans des cadres applicatifs différents. Bien sûr, une énumération exhaustive n'est pas envisageable.

Classification de Dupoirier

Dans le cadre de la gestion électronique de document dans les grandes entreprises et administrations, Dupoirier propose une classification essentiellement basée sur l'usage, la nature et le contenu des documents [Dup95]. Celle-ci distingue :

- les documents de bureau,
- la documentation technique,
- la presse,

- les ouvrages de savoir,
- les systèmes documentaires,
- les plans.

Classification de Belaïd et Tombre

Dans la problématique de la rétro-conversion de document, c'est-à-dire la reconstruction sous forme numérique d'un document physique, Belaïd et Tombre [BT92] proposent une classification basée sur la structure du document. Cette catégorisation prévoit quatre classes constituant chacune une problématique spécifique pour retrouver la structure logique à partir de la structure physique :

- les formulaires : ils sont relativement faciles à traiter car leurs structures physiques et logiques sont parfaitement définies et très liées. Les traitements sont guidés par cette connaissance.
- les objets postaux : pour ces objets, la composition d'une adresse, qui constitue la structure logique attendue, est connue. La difficulté supplémentaire est de localiser dans le document l'endroit où cette adresse apparaît.
- les documents composites : ce sont des documents qui contiennent des média variés : texte, graphique, photographie. Certains documents comme les romans ou les articles scientifiques ont souvent une mise en forme matérielle connue. Dans le cas général, ils constituent une classe de documents difficiles à analyser.
- les dessins techniques : la caractéristique de ces documents est que leur structure physique se décompose en trois couches : une couche graphique contenant les traits du dessin, une couche textuelle, et une couche pouvant contenir des symboles.

En conclusion, nous notons que la définition et la caractérisation d'un document dépendent principalement de l'objectif fixé. Le document correspond davantage à un *point de vue* qu'à un objet ayant une forme physique précise. Nous en avons une vision arrêtée et précise lorsqu'il est perçu comme auto-suffisant pour une tâche déterminée.

2.2.3 Structuration des documents numériques

Le terme de « document numérique » ou « document électronique » désigne l'ensemble des formes électroniques sous lesquelles sont stockées, manipulées et exploitées des informations structurées.

Généralités

Les nombreuses applications qui sont couramment manipulées par les utilisateurs de systèmes informatiques sont pratiquement toutes organisées autour de la notion de document. Ce que l'on appelle alors document est un fichier dont le contenu est exploité par l'application en question, afin de permettre à l'utilisateur d'interagir avec son contenu. Cette interaction se fait par le biais d'une interface présentant le document sous un aspect ou un point de vue qui fait sens pour l'utilisateur.

Un exemple assez parlant est celui du traitement de texte. L'utilisateur dispose d'un outil lui permettant de « composer » des documents de type courrier, de conserver des notes, etc. La finalité de ces documents numériques est bien souvent l'impression, donc la génération d'un document physique.

Dans ce type d'application, la notion de document reste une métaphore assez simple de la « réalité physique ». Les « documents » sont des entités relativement autonomes, correspondant à des « fichiers », que l'on désigne par un nom, que l'on range dans des « dossiers » selon une méthode de classement qui permette de les retrouver facilement, ce qui montre encore une fois que le document est principalement perçu par son *rôle* dans un contexte applicatif donné. Ce vocabulaire métaphorique utilisé presque naturellement n'est bien sûr pas innocent. Nous retrouvons dans ce cadre le principe d'unicité du document, existant à un seul endroit, et contenant l'ensemble des informations attendues (ce qui peut paraître trivial au premier abord, mais ne l'est pas nécessairement ⁷).

Le document numérique est par nature virtuel, il n'a pas d'existence matérielle. Il peut être dupliqué, copié et transféré sans coût particulier ni en temps ni en ressources, ce qui n'est d'ailleurs pas sans poser certains problèmes. En outre, il n'a pas nécessairement besoin d'être autonome, c'est-à-dire auto-suffisant en tant que fichier.

Ce point est très clairement illustré par l'exemple des marque-pages dans les navigateurs WEB. L'ensemble des entrées données par les marque-pages d'un utilisateur peut être vu d'un point de vue fonctionnel comme le sommaire, potentiellement annoté, d'une compilation d'articles. Il constitue en cela un document. Cependant, pour être pleinement exploitable, ce document, au sens de fichier, ne suffit pas : encore faut-il disposer des documents vers lesquels ce sommaire renvoie. Dès lors, le marque-page constitue-t-il encore un document à lui seul ? En outre, les pages référencées ne constituent-elles pas aussi des documents à part entière ?

À travers le développement de l'Internet nous observons ainsi l'émergence d'une autre idée du document, détachée de manière assez fondamentale de la conception presque classique du docu-

7. la preuve canonique pouvant être que le fichier lui-même ne contient pas l'application qui permet de lire son contenu et de l'exploiter.

ment tel que nous l'avons défini au début de cette section. Par le biais du navigateur, l'utilisateur accède de façon homogène à un ensemble de documents, de contenus, interconnectés, perpétuellement mis à jour. Cette manière de procéder est supportée par un ensemble de protocoles, d'outils, d'infrastructures qui constituent ce qui est appelé « technologie WEB ».

À titre d'exemple nous citerons la plate-forme OhRAGE qui permet la réalisation et la mise à jour d'atlas électroniques [Tur02]. Le système propose aux différents acteurs de construire et publier un atlas de manière incrémentale. Les éditeurs proposent des thématiques, les auteurs écrivent les articles qui vont constituer le document. La spécificité du numérique est que le document est mis à jour en permanence et en temps réel. D'autre part, les articles eux-mêmes ne sont pas organisés selon un axe de lecture particulier. La cohérence de l'atlas est assurée par la mise en relation des articles à travers les thématiques qu'ils abordent dans le cadre d'une lecture transverse du document par le lecteur.

Un autre exemple presque incontournable est l'encyclopédie en ligne « collaborative » Wikipedia⁸, où tout un chacun peut contribuer à la correction ou à l'enrichissement d'articles existants, ou encore en suggérer de nouveaux. Finalement nous pouvons noter le cas des outils de *syndication* de contenu, comme les « flux RSS »⁹, qui permettent de créer des documents en fusionnant différentes sources, a priori complètement indépendantes. Ainsi, un document est une compilation automatisée d'articles, organisés selon un réseau de thématiques.

Ces nouvelles « pratiques documentaires » remettent en question les schémas classiques de publication. Qu'il s'agisse de la vision simple du document-fichier ou du document réparti et fluctuant, la notion d'unité ou d'unicité physique, qui constitue pour une grande part ce que l'on conçoit comme un document, n'existe plus en tant que tel avec le document numérique. Cette unité qui nous est nécessaire pour en considérer le contenu, et en retirer de l'information par la *lecture* au sens large, n'est reconstituée qu'au moment de sa consultation. Dans le cas de l'hyperdocument, le support est le navigateur, la page sur laquelle s'affiche le document. Ce qui nous amène à nous poser la question suivante : le document est-il la source, à savoir l'ensemble de l'information structurée, ou bien est-il la destination, c'est-à-dire le rendu proposé au lecteur, et donc une vue spécifique sur cette information ?

Structuration informatique des documents

Le principe premier de l'informatique est de conserver et échanger de l'information. Conserver implique de coder l'information sous forme numérique afin de pouvoir la reconstruire et l'exploiter ultérieurement. Échanger implique, outre des protocoles et canaux de communication, de savoir, d'une part quelle est la nature de l'information échangée, et d'autre part, sous quelle forme cette

8. <http://www.wikipedia.org>

9. <http://www.rssboard.org/>

information est fournie. Ainsi, la nécessité de structuration est essentielle dans la mesure où c'est ce qui permet à la machine d'accéder aux contenus, et à l'homme d'organiser les concepts qu'il manipule. L'ensemble des problématiques liées aux questions de structuration et d'échange des données est désigné classiquement par le terme d'EDI (*Electronic Data Interchange* ou *Échange de Données Informatisé*). Dans ce cadre, il existe de nombreux standards qui visent à proposer une structuration des documents numériques.

SGML (*Standard Generalized Markup Language*) est une norme dérivée de GML (*Generalized Markup Language*), développée à l'origine par IBM [Gol81]. Cette norme propose un langage de balisage qui permet de marquer le document au moyen de balises entourant les éléments de contenu, afin de désigner leur rôle particulier dans le document : par exemple, titre, chapitre, paragraphe, etc. Les documents sont ainsi organisés de façon hiérarchique, les différents éléments marqués définissant une arborescence qui constitue la structure logique du document. La figure 2.2 présente un exemple d'une telle structuration.

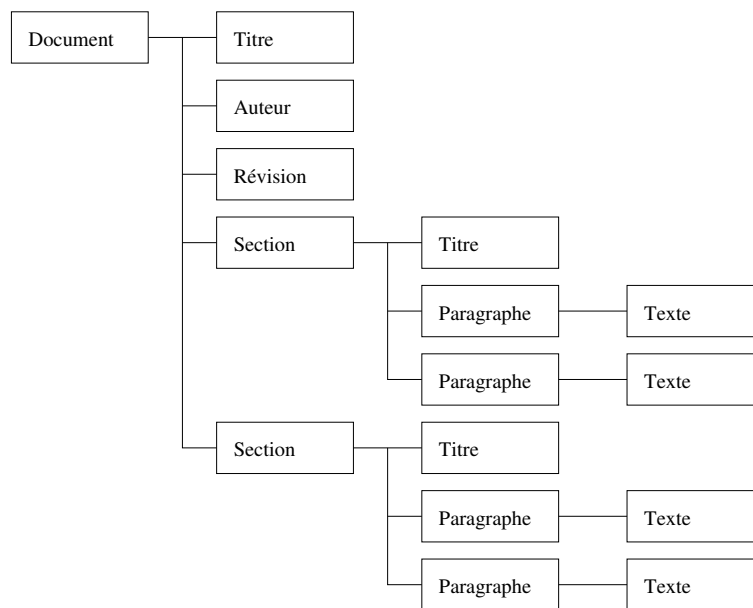


FIGURE 2.2 – Structure arborescente d'un document de type SGML

La particularité de la norme SGML réside dans le fait qu'elle définit un méta-langage de description des documents. Ce méta-langage permet de décrire de manière déclarative la structure logique des documents et des éléments qui les composent. Différentes classes de documents peuvent ainsi être définies de manière formelle en spécifiant quels sont les éléments structurants autorisés (les balises utilisées) et quelles sont les relations possibles ou obligatoires, entre ceux-ci dans un document d'une classe donnée. Cette définition du modèle de document permet à des outils génériques de vérifier la validité grammaticale des documents. Différentes applications ayant connaissance de ces modèles peuvent ainsi accéder au contenu des documents appartenant

aux classes prédéfinies.

SGML connaît un succès certain et la norme est devenue un standard international approuvé par l'ISO (*International Standards Organisation*). Elle est largement utilisée dans l'industrie, particulièrement dans l'édition. Les points forts de cette norme sont sa souplesse qui permet de l'adapter à différents besoins, et le fait que le format des fichiers n'impose pas l'utilisation d'un outil informatique particulier ; ils sont aisément éditables « manuellement » avec tout éditeur de texte.

ODA (*Office Document Architecture* ou *Open Document Architecture*) est d'une norme d'origine européenne [Eur85] visant également à définir une représentation standard pour les documents. Ce modèle repose également sur une structuration hiérarchique des éléments de contenu. Ces éléments sont décrits sous forme de classes, au sens habituel de la programmation orientée objet.

La principale différence avec SGML est que la norme ODA prévoit de décrire dans le document, en plus de sa structure logique, sa structure physique qui permet de le formater pour l'impression. Avec SGML, la gestion du style pour le rendu ou l'affichage du document est l'objet d'autres normes comme DSSSL (*Document Style Semantics and Specification Language*). En outre, les différentes classes d'éléments sont spécifiées dans la norme elle-même, contrairement à SGML, ce qui conduit à une plus grande complexité du standard.

HTML, XML Le langage HTML (*HyperText Markup Language*) reprend les concepts de SGML pour définir un langage de description de page relativement simple, principalement axé sur la composante textuelle, mais permettant aussi l'inclusion d'image et de son. Le langage propose également la possibilité de spécifier des « hyperliens » entre différentes pages, plus généralement entre différentes ressources ou documents. Ce langage est une des clefs de voûte, avec le protocole HTTP, du *World-Wide Web* (www) lancé en 1991 par Tim Berners-Lee [BLCL+94], avec pour objectif de développer un hypertexte généralisé sur le réseau Internet.

Le succès du web et la très large adoption du principe de l'hypertexte à travers HTML ont conduit à la création du consortium normatif w3C (*World-Wide Web Consortium*) pour en poursuivre le développement. Dans ce cadre, XML (*eXtensible Markup Language*) propose une formalisation du principe de balisage utilisé par HTML dans le but de permettre la généralisation du modèle d'hyperdocument et son application à d'autres fins que la mise en page de documents principalement textuels. Le consortium w3C propose ainsi différentes normes organisées autour d'XML par exemple MATHML pour la gestion de contenus à caractère mathématique. L'idée sous-jacente est que XML permet la construction de documents véritablement composites en permettant un mélange non ambigu des contenus exprimant différentes sémantiques.

DocBook Développé par le consortium OASIS (*Organization for the Advancement of Structured Information Standards*), concurrent du (W3C) fondé en 1993 sous le nom de *SGML Open*, le standard *DocBook*[WM99] est originellement une instance de SGML maintenant déclinée dans sa forme XML. Il propose un modèle de document basé sur une structuration à usage généraliste, extensible, mais particulièrement adapté aux livres et à la gestion des documentations.

Conclusion

Si l'impératif de modélisation et d'organisation que crée l'informatique a conduit à l'élaboration de différents standards pour la structuration des documents, leurs différences sont principalement d'ordre technique. En effet, l'ensemble de ces standards est basé sur une approche essentiellement hiérarchique quant à l'organisation du contenu. Cette organisation hiérarchique, qui implique que le document est la racine d'un tel arbre, renvoie de façon évidente au caractère récursif de l'idée de document hors du champ particulier de l'informatique : le document peut lui-même être un élément, un nœud d'un autre document.

En outre, si les structures hiérarchiques sont très classiques en informatique, ce qui constitue réellement un document numérique, c'est davantage le modèle de document qui lui est associé que sa structure elle-même. Les langages de structuration tels que XML ne sont que des outils qui permettent de traduire une organisation. Les modèles de documents qui sont basés sur ces langages, font l'objet de spécifications de normes établies pour des usages applicatifs précis. Ces normes décrivent d'une part la structure des documents, la grammaire (par exemple via les DTD ou XML SCHEMA), mais elles spécifient surtout l'interprétation attendue de ces structures : le modèle de rendu HTML ou SVG. Ce dernier aspect ne relève pas simplement d'une question technique, mais constitue réellement un choix sur la sémantique du document. En quelque sorte, chacune de ces normes est la fixation d'un point de vue sur le document, sur un usage particulier de celui-ci.

2.2.4 Conclusion sur le document numérique

Les changements profonds induits par la numérisation du support ont modifié considérablement notre perception et nos usages des documents. À tel point qu'il semble difficile de conjuguer la notion usuelle de document et celle de document numérique. Les points de vue techniques par lesquels nous avons décrit le document numérique semblent bien éloignés de notre expérience de ce que nous appelons également document, mais qui semble d'une nature fondamentalement différente.

Cette apparente dissemblance tient certainement au fait que les documents au sens classique que nous connaissons sont en fait le produit d'une longue évolution, dans laquelle le concept de

document résulte plus d'une habitude que d'une définition formelle.

En effet, la production, la diffusion et la consommation de documents sont longtemps restés le fait de quelques acteurs, notamment administratifs. Ils étaient liés à des métiers et des usages qui en ont imposé les formes au cours du temps. En outre, le papier comme support naturel du document n'a pas été remis en question durant une longue période. Ceci fait que, sans même en avoir une définition stricte, une certaine idée du document s'est imposée à nous de manière assez naturelle.

La révolution numérique peut être caractérisée par deux changements radicaux qui bousculent notre vision classique du document. D'une part, la versatilité du support remet en question la forme papier traditionnelle et son aspect statique. Le document numérique est dynamique ; il peut être audio ou vidéo. D'autre part, la démocratisation considérable de la production et de la circulation des documents fait que des nouvelles formes et de nouveaux usages apparaissent, en dehors de cadres *institutionnels* classiques.

Une réflexion pluridisciplinaire[Péd03] menée au sein du réseau thématique 33 du département STIC du CNRS sur la mutation du document à l'heure numérique propose de définir un cadre permettant de mieux cerner la notion de document. Celle-ci est envisagée selon trois axes généraux permettant de classifier les différentes problématiques liées au document, et au travers desquels s'observent et s'expliquent les transformations liées au passage au numérique. Selon ce modèle, le document peut être abordé en tant que forme, signe et médium. Dans chacun des cas une tentative de formalisation est donnée au travers d'une *équation du document* qui s'exprime différemment avec le document numérique.

- Le document comme forme : Cela concerne les approches qui abordent le document par la question de sa structure, matérielle ou immatérielle. De ce point de vue, l'*équation* du document traditionnel «document = support + inscription» devient «document numérique = donnée structurée + mise en forme».
- Le document comme signe : Ici le document est perçu comme porteur de sens et doté d'une intentionalité. Il est indissociable du contexte dans lequel il existe. De même que précédemment, cela conduit les auteurs à proposer une réécriture de l'*équation* «document = inscription + sens» en «document numérique = texte informé + connaissances».
- Le document comme médium : Dans ce dernier axe, l'accent est mis sur le statut du document d'un point de vue social, comme trace d'une communication, comme preuve. Avec le passage au numérique l'*équation* «document = inscription + légitimité» devient «document numérique = publication + accès repéré»

Ces différents points de vue ne sont pas mutuellement exclusifs, mais ils permettent, sinon de formaliser, tout au moins d'éclairer la manière dont on peut aborder d'une manière générale les problématiques liées au document. Dans ce cadre, nous dirons que le document comme signe

est l'aspect qui prime dans notre approche.

2.3 Notion de lien dans le document composite

Après avoir donné un aperçu du concept général de document et de sa structuration informatique, nous nous intéressons maintenant à la notion de *lien* dans les documents. Cette notion est en effet très associée à l'idée de document, et pas uniquement restreinte à sa forme numérique. Nous la considérons même comme essentielle, car elle se rattache à la notion de *lecture tabulaire* développée par Vandendorpe [Van99, Van01].

Tout d'abord, le principe de lien entre documents constitue le fondement de l'hypertexte. C'est par le biais de cette construction informatique qu'est permise la navigation au sein d'un espace documentaire. Le système présente à l'utilisateur un document dont certains éléments sont des liens vers d'autres documents. En activant un élément, l'utilisateur est renvoyé au document, ou à la partie de document, pointé(e) par le lien. Ce principe s'est révélé extrêmement puissant et pertinent comme en témoigne le succès extraordinaire du web.

En outre, au-delà de l'aspect strictement informatique et navigationnel, l'observation d'un document classique suggère de manière assez évidente l'existence de relations particulières entre différentes composantes de celui-ci : renvoi à une note de bas de page, entrée dans un sommaire, index des termes, référence bibliographique, etc. Toutes ces relations peuvent aussi être perçues comme des liens, puisqu'elles suggèrent aussi l'idée d'une redirection, d'un renvoi à une autre partie du document.

Dans cette section, nous précisons la notion de lien, en commençant par discuter l'importance du lien dans le processus de navigation et de construction de l'information. Nous montrons ensuite quels sont les phénomènes qui peuvent conduire à l'établissement de liens dans les documents. Puis nous détaillons la manière dont la notion de lien peut être formalisée en informatique et la manière dont ils sont conçus usuellement dans les hypertextes. Enfin, nous présentons quelques travaux portant sur la caractérisation et l'extraction automatique de liens.

2.3.1 Lien et information

Comme le remarque Vandendorpe [Van99], la particularité du document dans le processus de communication est qu'il offre au lecteur la possibilité d'une « lecture tabulaire », c'est-à-dire une lecture du document qui n'impose pas de suivre la linéarité proposée par l'auteur. Il permet au lecteur d'entrer et de naviguer dans le document selon un axe qu'il a choisi, en utilisant par exemple la pagination, ou d'autres spécificités de la mise en forme comme autant d'indices lui permettant de « feuilleter » le document. Il peut ainsi choisir son rythme de lecture, s'attarder

sur un aspect spécifique du document, revenir en arrière.

L'efficacité de cette forme de lecture sur l'assimilation de l'information par le lecteur peut être liée à l'hypothèse selon laquelle l'esprit procède par association [NK91]. Selon Nyce, à partir d'un « objet » à sa portée, l'esprit « saute » vers le suivant qui lui est suggéré par associations d'idées. Ce principe se retrouve dans l'hypothèse que la construction d'une interprétation serait le résultat d'un processus de cheminement entre plusieurs étapes successives d'interprétations [Enj96].

Dans un article intitulé *As We May Think* [Bus45], Vannevar Bush présente une machine théorique baptisée *MEMEX* qui simule et améliore le mécanisme de la mémoire humaine, en permettant à l'utilisateur de consulter et conserver des documents liés par associations. Ces travaux précurseurs mettant en avant l'idée de lien peuvent être considérés comme la genèse de l'hypertexte. À travers l'hyperdocument et le principe de navigation, l'informatique contribue à mécaniser, dans une certaine mesure, ces processus d'assimilation et de construction du sens par navigation. Or cette idée de succession d'étapes, de sauts entre éléments, rend la notion de lien primordiale : il est le support des changements d'état. De ce point de vue, le lien constitue l'élément clef de la puissance informative de l'hypertexte et de l'hyperdocument en général, puisqu'il est le moyen technique par lequel cette forme de navigation, de *lecture tabulaire* non strictement linéaire est rendue possible dans un espace documentaire.

Ainsi, Balpe [Bal90] donne la définition d'un hyperdocument comme étant un « contenu informatif constitué d'une nébuleuse de fragments dont le sens se construit, au moyen d'outils informatiques, à travers chacun des parcours que la lecture détermine ». Cette définition illustre bien l'idée que l'information n'est pas intrinsèque aux documents, mais qu'elle se construit progressivement au cours d'un processus de lecture, orienté par une tâche. Le lecteur construit ainsi l'information par étapes successives au cours de sa navigation.

Une caractéristique importante du lien est qu'il rompt la structure hiérarchique des documents, tout comme la mise en forme d'un document casse la linéarité de son contenu, en définissant des points de saut potentiels entre différentes parties du document. Ce fait est illustré par la figure 2.3. Dans le cas du document numérique, les liens s'inscrivent dans la structure statique des documents, mais les enrichissent en offrant la possibilité de rompre cette structure dans le cadre d'un parcours dynamique. Le principe du lien tel qu'il est conçu dans un hyperdocument peut être vu comme une forme numérique de cette notion de tabularité.

Le lien, en tant que construction informatique est *a-sémantique*, comme le remarque Balpe. Dans un hyperdocument, tout peut être lié à tout. Pour décrire un tel système interconnecté, Deleuze et Guattari [DG76] utilisent l'image très pertinente du *rhizome*, qu'ils opposent aux structures arborescentes. Selon eux, un rhizome « ne cesserait de connecter des chaînons sémiotiques », et l'une de ses caractéristiques serait le « principe de rupture assignifiante ». Cette

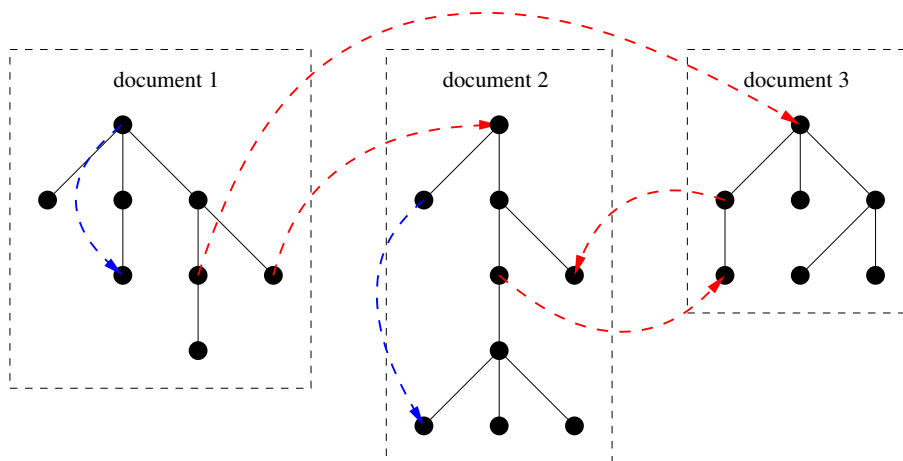


FIGURE 2.3 – Liens dans un ensemble d'hyperdocuments

Les documents forment des structures arborescentes dont les nœuds (schématisés par des points noirs) peuvent constituer des ancres. Des liens peuvent être établis au sein d'un même document (en bleu), ou entre différents documents (en rouge).

structure engendrerait une multiplicité qui dépasse celles possibles par la logique binaire de la dichotomie, propre aux structures arborescentes. [Bol91] redéfinit même les programmes d'intelligence artificielle comme des hypertextes qui créent et traversent des réseaux de signes, imitant ainsi les capacités de l'homme à lire et écrire :

From our perspective, however, artificial intelligence is simply another way to write with the computer. This crucial point has not been appreciated either by the opponents or the enthusiasts for artificial intelligence. The very definition of artificial intelligence turns out to be the ability to write and to read as humans do, and artificial intelligence programs turn out to be hypertexts that create and traverse networks of signs. What makes these programs unusual is their claim of autonomy. They claim to be texts that dispense with the (human) writer and write themselves. The human reader of these artificially intelligent texts is left to play in a writing space that is supposed to be the mind of the machine. Artificial intelligence is the art of programming the computer to "write the mind".

De notre point de vue, il apparaît que l'idée de lien est indissociable de l'idée de document, car c'est ce qui confère à ce dernier sa dynamique, sa capacité d'être lu. C'est peut-être même ce que le définit : comme si la fixation sur un support créait la potentialité d'un lien, donc d'une lecture, *a fortiori* d'un document.

Le lien se retrouve explicitement dans le cadre du document électronique. La navigation

intra- ou inter-document s'opère en activant des liens proposés dans le document. Le caractère mécanisé de cette forme de lecture fait du lien un artefact spécifique au document électronique, explicité comme un élément actif disposant d'un statut particulier.

Mais cette immanence du lien dans le document ne se limite pas à sa version numérique. Cette même notion se retrouve dans les documents matériels classiques : le sommaire d'un ouvrage, l'index, la table des matières, constituent des ensembles de liens proposés là aussi entre tout ou parties de documents. Cette liste pourrait même s'étendre à tous les éléments de mise en forme, qui, s'ils ne sont pas des éléments du langage *stricto sensu*, traduisent l'organisation d'un discours et peuvent ainsi suggérer des liens entre les parties de celui-ci : par exemple, la séparation d'un texte en paragraphes est implicitement liée au découpage rhétorique du propos.

De manière plus large, nous considérons la tâche de recherche documentaire au sens général comme l'explicitation de liens. L'utilisation d'un moteur de recherche illustre bien ce principe. La soumission d'une requête génère l'établissement d'un certain nombre de liens. Tout d'abord le lien entre une requête particulière, qui peut être vue comme un document, et les documents pertinents dans le cadre de celle-ci. Par ailleurs, les documents retournés, qui sont *a priori* complètement indépendants dans leur conception, se retrouvent en fait liés temporairement dans le cadre du retour de la requête. Reste bien entendu la question des principes sous-jacents qui ont conduit à la constitution de ces liens, comme par exemple les choix effectués pour l'indexation. Ceux-ci peuvent varier, mais ils sont basés sur des éléments structurants des documents et de leurs différentes composantes.

2.3.2 Forme des liens dans le document

Ainsi, faire du sens, c'est instancier automatiquement des liens qui correspondent à des interprétations possibles, attendues ou non, du document. Nous ne dirons pas que ces liens « existent » dans le document en lui-même, mais plutôt que le document comporte un certain nombre d'indices qui suggèrent au lecteur des liens potentiels. Ces indices peuvent être très immédiats, très visuels ; ils peuvent aussi relever d'une interprétation plus fine du document. Les indices explicites comme une note de bas de page relèvent d'un niveau d'interprétation moindre que la compréhension d'un paragraphe dans lequel l'idée développée renvoie par exemple à un autre ouvrage. En outre, les indices en eux-mêmes ne suffisent pas pour engendrer un lien : il dépend aussi du point de vue du lecteur, de ses connaissances, de son niveau d'expertise, de son intention. La distinction entre ces différents cas n'est pas absolue ; néanmoins nous pourrions dégager trois grands principes autour desquels la génération de liens s'articule :

Lien explicite dans la forme Les liens explicites dans la forme regroupent tous ceux qui sont portés par des indices propres à la mise en forme, au support du document, et qui suggèrent de

manière directe l'existence d'un lien entre plusieurs éléments à l'intérieur du document ou vers tout ou partie d'un autre document. Un renvoi en bas de page, par exemple, n'est pas un élément du langage, mais un moyen particulier offert par la composante textuelle écrite. L'explicitation d'un lien peut aussi être basée sur une utilisation spécifique de la mise en forme matérielle : par exemple le fait d'accoler un terme à sa définition dans un lexique, ou le nom d'une personne sous une photo.

Lien implicite dans le discours de l'auteur Les liens de ce type sont suggérés par l'analyse du discours de l'auteur, d'un point de vue cette fois linguistique. C'est par exemple le cas d'une formulation telle que « ... le principe exposé dans la section précédente ... ». Il peut s'agir d'une simple allusion ou d'un appel plus insistant.

Lien implicite dans l'esprit du lecteur Proche de la catégorie précédente, ces liens sont ceux qui vont être auto-suggérés au lecteur, non pas par le contenu du document en lui-même, mais par une association d'idées faite entre des éléments du contenu du document et l'état mental du lecteur : connaissance ou sensibilité particulière, tâche spécifique, plan de lecture transverse, etc.

La distinction entre ces deux derniers types de liens est intéressante, car elle peut représenter la distinction entre la transmission d'une idée existante, suggérée par l'auteur, et la construction d'une nouvelle idée par le lecteur.

2.3.3 Modélisation des liens dans le document numérique

Selon Balpe et Lelu [Bal90, BL96], la notion de liens au sein d'un espace documentaire s'articule autour de trois composantes : le *nœud*, l'*ancree* et le *lien*. Cette organisation est très largement admise. Elle se retrouve communément dans la mise en œuvre informatique des hyperdocuments. Nous passons maintenant en revue ces trois éléments.

Nœud Un nœud est défini par Balpe comme « un document élémentaire dont le contenu exprime une seule idée : c'est une unité sémantique ». En fait la notion d'unité sémantique est assez floue. Peut-on considérer qu'une chose n'exprime qu'une idée ? Plutôt que d'aborder le nœud par ce qu'il exprime, il nous semble plus judicieux de le considérer d'un point de vue plus pratique, témoignant de son usage au sein de l'hyperdocument. En effet, nous avons vu que le document numérique est par nature virtuel et qu'il ne prend donc corps que lors de la consultation. De ce point de vue, le nœud est ce qui définit un document dans un espace hyperdocumentaire : il possède une « adresse » unique dans cet espace, ainsi qu'un contenu propre qui est communiqué au lecteur au cours de la navigation. Du point de vue de la structure, il définit la racine du

document qui est fourni au lecteur à chaque étape de la navigation. La définition des types de documents qu'il est possible de rencontrer dans un hyperdocument, et donc des nœuds, est un choix effectué par les auteurs, au sens large, de l'hyperdocument. Son caractère sémantique n'est dès lors pas unique, mais plutôt lié aux intentions des auteurs d'une part, et au point de vue des lecteurs d'autre part. Un certain nombre de contraintes peuvent déterminer ce qui pourra, ou non, constituer un document. Les deux exemples suivants illustrent ces points.

- Dans un système de navigation tel que le WEB, les droits d'accès sont définis au niveau des ressources (un contenu accessible par une URL), qui constituent de ce point de vue la granularité de l'hyperdocument.
- Pour la gestion de versions, particulièrement importante dans le cadre du document incrémental et collaboratif, cela suppose la définition d'un « élément atomique » dont le contenu peut faire l'objet de versions successives.

Ancre L'ancre détermine un point particulier dans un nœud, une unité sémantique de niveau inférieur. Une ancre est donc un élément adressable du document, un grain minimal, qui va servir de point d'ancrage pour les liens. Dans le cas d'un hypertexte, il peut s'agir d'un mot, d'un groupe de mots, d'un paragraphe, d'un titre, etc. Dans le cas d'autres média, comme le son, l'image ou la vidéo, il s'agira d'un « passage » particulier. La manière de définir de tels passages ou régions pose bien entendu des problèmes complexes. En effet la notion d'unité sémantique est difficile à définir sur des média de ce type.

Lien Les liens constituent le principal moyen pour organiser des documents de manière non linéaire. Ils permettent à l'utilisateur de se déplacer d'un endroit à un autre du document. La présence d'un lien définit une relation particulière entre plusieurs parties d'un document, ces parties étant désignées par des ancres. Il correspond à un parcours possible du document, ou à un « point de choix entre épisodes » dans la métaphore de Bolter [Bol91]. Le lien peut être typé et multidirectionnel, même si, dans sa forme la plus courante, le web ne propose qu'un lien unidirectionnel et ne portant pas d'information particulière. La norme XLink [DeR99] développée au W3C vise à enrichir le modèle de lien initialement conçu pour le web, en permettant notamment de typer ces liens, d'y associer des informations sémantiques et même de définir des liens multiples portant sur plus de deux ancres.

La figure 2.4 présente un exemple de liens entre deux documents HTML. Il s'agit de liens unidirectionnels simples entre des ancres délimitées par des balises `<a>` `` (*anchor*). Ces balises s'intègrent dans la structure du document, l'élément `a` faisant partie des éléments définis par le modèle de document HTML. Les ancres du document de gauche sont les ancres de départ des liens. Ce sont elles qui définissent la présence d'un lien et qui en donne les cibles, désignées par l'attribut `href`. La valeur de cet attribut correspond à l'« adresse » de l'ancre cible dans l'hyperdocument.

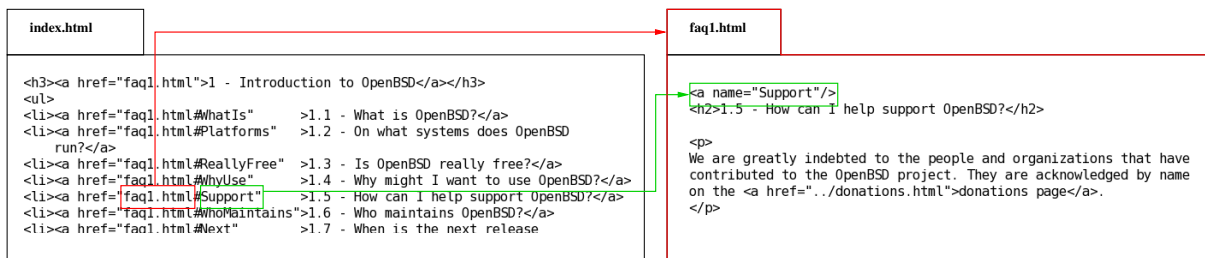


FIGURE 2.4 – Exemple de lien entre deux extraits de fichiers au format HTML

On retrouve dans cette adresse les deux notions de nœud et d'ancre. Le nœud (ici `chapitre1.html` pour tous les liens) identifie le document ciblé. L'ancre (`section1` et `section2` pour les deux dernières ancres du document `sommaire.html`), séparée par le symbole conventionnel `#`, désigne la balise précise, l'élément structurel du document cible vers lequel pointe le lien. Si l'ancre n'est pas précisée, elle correspond implicitement au nœud dans son ensemble, c'est à dire à la racine du document. Dans cet exemple, la destination du deuxième lien est la première ancre du document de droite, avec son attribut `name`, qui correspond au titre de la section. Différents liens peuvent être définis vers cette ancre dans la mesure où celle-ci, en tant que destination, ne porte aucune information spécifique aux liens dont elle est la cible. Elle définit simplement une attache potentielle pour ces liens.

L'exemple de HTML illustre bien la manière dont peuvent être conçus les liens dans les documents numériques, mais ce n'est qu'une possibilité. Il existe d'autres mécanismes permettant de mettre en œuvre le principe de lien sur des documents structurés en général. Le langage XPATH permet, par exemple, de désigner un ou plusieurs nœuds quelconques dans un document XML, sans utiliser la construction spécifique `<a>/`. Néanmoins, les notions de nœud, d'ancre et de lien restent présentes dans tous les cas. Qui plus est, cette construction purement formelle reste complètement neutre du point de vue de la sémantique des liens.

2.3.4 Génération automatique de liens

Dans un hyperdocument, les liens n'existent que s'ils ont été établis, soit lors de la construction du document, soit inférés ultérieurement automatiquement. La génération automatique de liens est une problématique relativement classique. Malgré les succès mitigés des premières tentatives, soulignés par Glushko et Bernstein [Glu89, Ber90], l'intérêt pour de tels systèmes reste fort, étant donnée la masse grandissante de documents disponibles.

Typologies de liens

Dans la modélisation que nous venons de décrire, les liens offrent une infrastructure pour construire des hyperdocuments, pour organiser la navigation. En eux-mêmes, ces liens sont a-sémantiques comme le remarque Balpe [BL96]. Ils ne sont porteurs *a priori* d'aucune valeur sémantique particulière. Or, qu'elle soit automatique ou manuelle, la motivation qui conduit à établir un lien entre deux éléments induit l'idée d'un type pour ce lien. Nous présentons quelques exemples de typologies de liens.

Dans des travaux s'attachant spécifiquement aux publications scientifiques, Trigg [Tri83] propose une taxonomie des liens organisés en classes hiérarchiques, composées à la base de liens internes de « substance » et de liens externes de « commentaire ». Chacune de ces classes est ensuite subdivisée en sous-classes, puis celles-ci en sous-sous-classes, etc. Trigg définit ainsi un ensemble de 80 classes de liens [TW87], parmi lesquels la *citation*, la *réfutation*, la *révision*, l'*équivalence*, la *comparaison*.

Allan [All96] propose une première catégorisation des liens selon trois grandes classes :

- Les liens de co-occurrence (*pattern-matching links*) : Cette catégorie regroupe tous les liens qui fonctionnent par référence directe, par exemple le lien de type *définition* dans un dictionnaire, les renvois à une entrée bibliographique, ou les liens structurels entre les chapitres d'un livre par exemple.
- Les liens manuels (*manual links*) : Ce sont tous les liens qui relèvent d'une compréhension fine des documents, d'une interprétation nécessitant l'intervention humaine, du fait d'analyses très complexes en langue naturelle.
- Les liens automatiques (*automatic links*) : Ce sont tous les liens qui ne sont pas triviaux à retrouver, au contraire des liens de co-occurrence, mais qui peuvent être automatisés. Dans cette catégorie se trouvent les types suivants :
 - révision : ce lien relie entre elles les différentes versions d'un même document,
 - résumé/développement : lien réciproque entre deux documents dont l'un est le résumé d'un thème développé dans l'autre.
 - équivalence : les documents liés parlent d'un même sujet,
 - comparaison/contraste : ces liens désignent des similarités ou des différences entre des textes.
 - tangent : désigne une forme particulière du lien d'équivalence entre deux documents parlant d'un même sujet, mais selon un développement très différent : par exemple les aspects géographiques d'une région par rapport à ses aspects culturels.
 - agrégation : ce lien permet de grouper différents documents au sein d'un même entité. Il recouvre des liens structurels, comme par exemple les chapitres d'un livre.

Il existe de nombreuses autres typologies de liens, notamment des typologies visant à traduire la structure rhétorique des documents [MT88]. Parunak se base sur l'analyse du discours pour

définir des liens pour l'hypermedia [Par91].

Quelques réalisations

Ces typologies se retrouvent dans un certain nombre de réalisations. Dans l'ensemble, beaucoup de ces travaux tentent de créer des liens entre documents dans un contexte très général, plutôt orienté vers le traitement de grandes bases documentaires. Les documents sont considérés dans leur ensemble, et ils sont liés en utilisant des techniques plutôt statistiques et basées sur la forme des médias. Le plupart de ces travaux ne propose pas une analyse sémantique fine des documents, et en particulier une étude de la nature de l'information véhiculée par les différentes composantes du document. C'est notamment le cas pour les composantes de type image qui, comme nous le verrons, posent des problèmes particuliers.

Il existe de très nombreux travaux de mise en relation de documents s'appuyant sur les parties textuelles des documents. Beaucoup de ceux-ci s'inscrivent dans la lignée des travaux de Salton portant sur la structuration automatique d'hyperdocuments, notamment avec le système d'indexation et de recherche SMART [Sal71]. Cette communauté est organisée autour de la conférence TREC (*Text REtrieval Conference*), permettant la comparaison et l'évaluation des différentes approches. Une problématique relativement importante est la détection et le suivi de thème [ACD⁺98] permettant de lier entre elles des dépêches d'informations. Dans le même ordre d'idée, [SSMB97] construit des hyperliens sémantiques afin de relier des paragraphes entre des encyclopédies. Radev [Rad00] propose le modèle CST (*Cross-document Structure Theory*) qui vise à étendre les techniques précédentes en intégrant certains éléments de rhétorique tels que la paraphrase, la citation, le développement, etc.

Un certain nombre de travaux plus récents s'intéressent à la génération de liens entre documents de natures différentes, incluant notamment l'image, le son, la vidéo. Pour répondre à cette problématique, s'est organisé depuis quelques années en marge de la conférence TREC l'atelier TRECVID. Dans ce cadre, plusieurs travaux [IDF⁺05] visent à proposer des approches unifiées pour la recherche d'information multimédia.

2.3.5 Conclusion

Nous avons vu dans cette section que la notion de lien est un aspect essentiel du document. Dans le document numérique, le lien peut être assez facilement modélisé : il s'inscrit de manière assez immédiate dans la structure du document et il est facilement exploité par les applications informatiques pour proposer un système de navigation dans les documents, une forme de feuilletage virtuel. Nous avons vu aussi comment ces liens structurels entre éléments, qui sont la base de la navigation, peuvent être vus comme l'explicitation de relations plus profondes au

sein du document. Ces liens structurels sont alors le reflet de liens sémantiques dans le document. Ils permettent, selon le principe de connexion et d'association, de proposer une lecture, une compréhension, un point de vue sur le contenu.

Néanmoins, pour que ce système de lecture/compréhension par navigation soit opérationnel, encore faut-il que ces liens soient explicités dans les documents numériques. Cela suppose d'abord de structurer les contenus de façon pertinente, afin de pouvoir y accrocher, y ancrer ces liens. En outre, dans la perspective de proposer des liens instanciés automatiquement par la machine, plus ou moins dynamiquement, il est nécessaire de savoir sur quels matériaux et selon quels principes des liens sémantiques cohérents (ou plutôt témoignant d'une compréhension, d'un point de vue possible) peuvent être reconstruits.

Dans le cadre du document composite, nous avons noté dans la section 2.2 que les composantes de type image contribuent fortement à véhiculer le contenu sémantique. Les images font partie du message que constitue le document, par conséquent ces liens sémantiques se conçoivent aussi sur ces composantes imagées. Or, sur les deux aspects qui viennent d'être présentés (la structure et la sémantique), l'image est très en recul par rapport au texte.

En effet, la plupart des travaux visant à instancier automatiquement des liens dans un hyperdocument s'attachent à réaliser ces liens sémantiques, ou dits sémantiques, entre documents en se basant presque exclusivement sur des indices textuels : à travers des analyses linguistiques plus ou moins fines, en utilisant des méthodes statistiques sur les occurrences de termes, ou parfois en faisant intervenir la structure du texte dans l'analyse (titres, paragraphes). Les ancres ainsi définies sont soit des documents entiers, soit des extraits du document dont le découpage s'inscrit dans sa structure même : section, paragraphe, mot ou groupe de mots dans un paragraphe. La structure du document suit en fait la structure de la langue, ou plutôt de « l'écrit » comme mode d'expression. Beaucoup d'approches qui considèrent les images le font surtout en utilisant des méta-données, des informations orbitant autour de l'image comme le nom du fichier, le contexte d'évocation dans le document, afin d'en déduire des indices sémantiques.

Notre objectif est de proposer une compréhension fine des documents prenant en compte les informations qui sont supposées contenues dans les images. Comme nous l'avons dit, nous ne prétendons pas donner une réponse générique fonctionnant pour tout type de document. Nous nous intéressons plutôt à un type d'image particulier, la carte dans le document géographique. De notre point de vue, nous considérons qu'obtenir une compréhension fine de ces documents consiste à construire des liens sémantiques suffisamment riches entre les images (en particulier des éléments dans les images) et le reste du document (texte ou image). Ceci suppose de disposer de moyens de « lier » les images, en terme de structure et de contenu, c'est-à-dire savoir comment structurer ces images de manière à définir des ancres. Celles-ci sont vues comme des *unités structurelles* pertinentes car porteuses d'une sémantique, et sur lesquelles vont pouvoir être attachés des liens.

Dans la section suivante, nous nous interrogeons donc sur la nature des images. Nous détaillons ce que sont les images, et nous essayons de montrer à travers leurs caractéristiques intrinsèques, la difficulté que représentent les traitements sémantiques sur celles-ci.

2.4 Spécificité de l'image dans le document

Dans les applications documentaires informatiques, l'image est souvent considérée par opposition au texte. Dans la plupart des systèmes d'information, la manière d'organiser le contenu tient compte de cette opposition. Dans l'exemple d'un hypertexte tel que le web, il est assez simple de constater que les éléments de type « image » ont bien souvent un caractère « atomique » dans le document. D'abord dans la structure puisque les images correspondent à des éléments « vides » au sens de XML qui s'inscrivent dans le flot du texte. Ensuite dans leur rôle au sein de l'hyperdocument où elles servent très souvent d'ancre à part entière. Cette distinction entre texte et image, qui semble assez naturelle, est certainement due à la différence de structure interne entre ces deux « média », voire même à l'absence de structure interne dans le cas de l'image, en tout cas dans la manière dont elles sont considérées. Nous reviendrons sur ce point plus loin.

Ainsi, les différents travaux touchant au document numérique, et les problématiques qui les entourent, peuvent assez facilement être catégorisées selon le point de vue de l'objet auquel ils s'attachent. Il est possible de distinguer assez clairement les communautés dont les activités se rattachent à l'étude du texte (linguistique, *text mining* ou fouille de texte), et celles qui sont plus spécialisées dans le traitement d'image (*content-based image retrieval*, *image processing*). Même si les intentions finales peuvent être les mêmes en terme d'indexation, d'accès au contenu, de recherche d'information, les moyens à mettre en œuvre pour traiter ces différentes composantes sont multiples. De par leur différence de nature et de forme, les problématiques soulevées apparaissent comme assez éloignées.

En fait, la séparation entre texte et image dans un document n'est pas toujours évidente. Les images peuvent contenir des éléments textuels. À l'opposé, un document de nature purement textuelle peut être donné sous forme d'images au sens où l'entendent les communautés de traitements d'images dans lesquelles l'image est vue comme un signal numérique. Cela constitue d'ailleurs une problématique assez « classique », la rétro-analyse de document et la reconnaissance optique de caractères, donnant lieu à un certain nombre de travaux parmi lesquels nous citerons [Tom98] ou encore le cycle de conférences ICDAR¹⁰.

Il convient finalement de noter que, comme nous l'avons vu dans la section précédente, le document numérique étant par essence abstrait, nous ne pouvons l'appréhender que lorsqu'il est retranscrit sur un support physique qui nous permette de le percevoir, c'est-à-dire quand il

10. *International Conference on Document Analysis and Recognition*

redevient, par exemple, une image dans le cas du document visuel statique. Ainsi le document tel que nous le percevons est une image. Nous pouvons cependant en « comprendre le contenu ». En outre cette image est suffisamment structurée au sens informatique pour que nous puissions interagir avec elle de manière intelligible, c'est-à-dire naviguer dans l'hyperdocument.

2.4.1 Codage des images

En informatique, l'objet image est associé à un fichier dont le contenu constitue un ensemble d'informations qui permet de restituer sur un support physique, comme un écran ou une imprimante, un signal qui pourra être perçu par l'œil. Le codage d'une image reflète donc la manière dont ce signal pourra être restitué. L'organisation du contenu d'un fichier est régie par des conventions qui permettent aux systèmes informatiques de les exploiter. Cette organisation est définie par ce que l'on appelle usuellement le *format* du fichier.

Si les images telles que nous les percevons habituellement, à savoir (très schématiquement) des taches de couleur sur un plan, semblent identiques dans leur nature, sur le plan informatique elles revêtent en fait des formes très variées. Il existe une multitude de formats d'image différents. Si les standards WEB ne préconisent que quelques formats principaux pour l'intégration d'images dans les hyperdocuments pour les hyperdocuments (GIF, PNG, JPEG et maintenant SVG), ceux-ci ne permettent pas toujours de prendre en compte des spécificités requises pour certaines applications, comme par exemple le géocodage, ou encore la notion de calque en infographie. En outre les éditeurs de logiciel de production d'images peuvent avoir tendance à vouloir mettre en avant leur propre format. Un outil générique de transformation d'image comme *ImageMagick*¹¹ supporte plus de 90 formats d'images différents. Mais au-delà des différences et des particularités techniques propres à chacun de ces formats, les images que nous sommes susceptibles de rencontrer dans les documents numériques vont pouvoir être catégorisées selon deux formes fondamentalement différentes : les images *rasters* et les images *vectérielles*.

Images *rasters*

Sous la forme raster, une image est représentée par une matrice à deux dimensions qui retranscrit de manière linéaire le signal tel qu'il sera perçu sur le support physique (figure 2.5). Les deux dimensions de la matrice correspondent aux deux dimensions du plan, et chaque élément de la matrice contient un ensemble d'informations permettant de restituer la couleur du point à cet endroit du plan. La taille physique de ces points est donnée par la *résolution* de l'image. La multiplication du nombre d'éléments dans chaque dimension pour une taille constante en sortie, donc l'augmentation de la résolution, permet de redonner plus ou moins au rendu final sur écran l'illusion de continuité du signal. La notion de résolution reste valable pour l'impression

11. <http://www.imagemagick.org/>

sur support papier, mais le caractère matriciel de l'image numérique ne se traduit alors pas de manière immédiate en terme de point comme sur un écran.

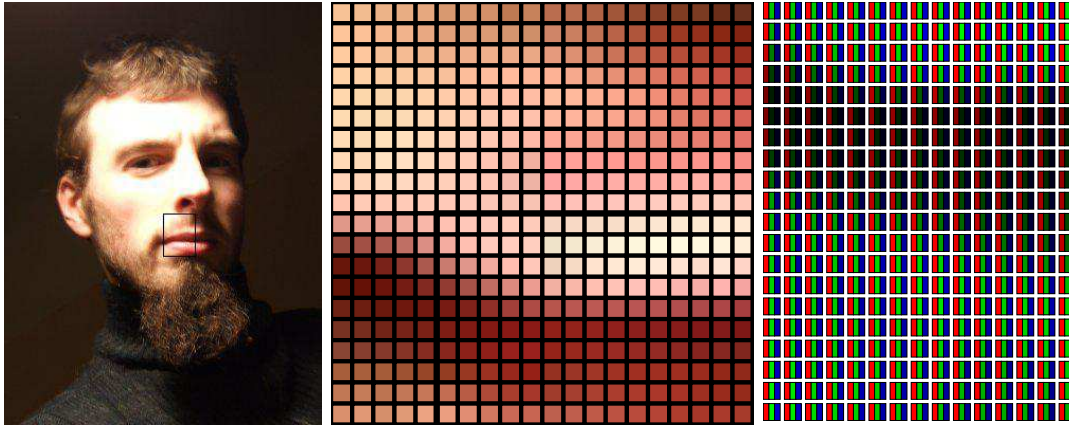


FIGURE 2.5 – Codage d'une image *raster*

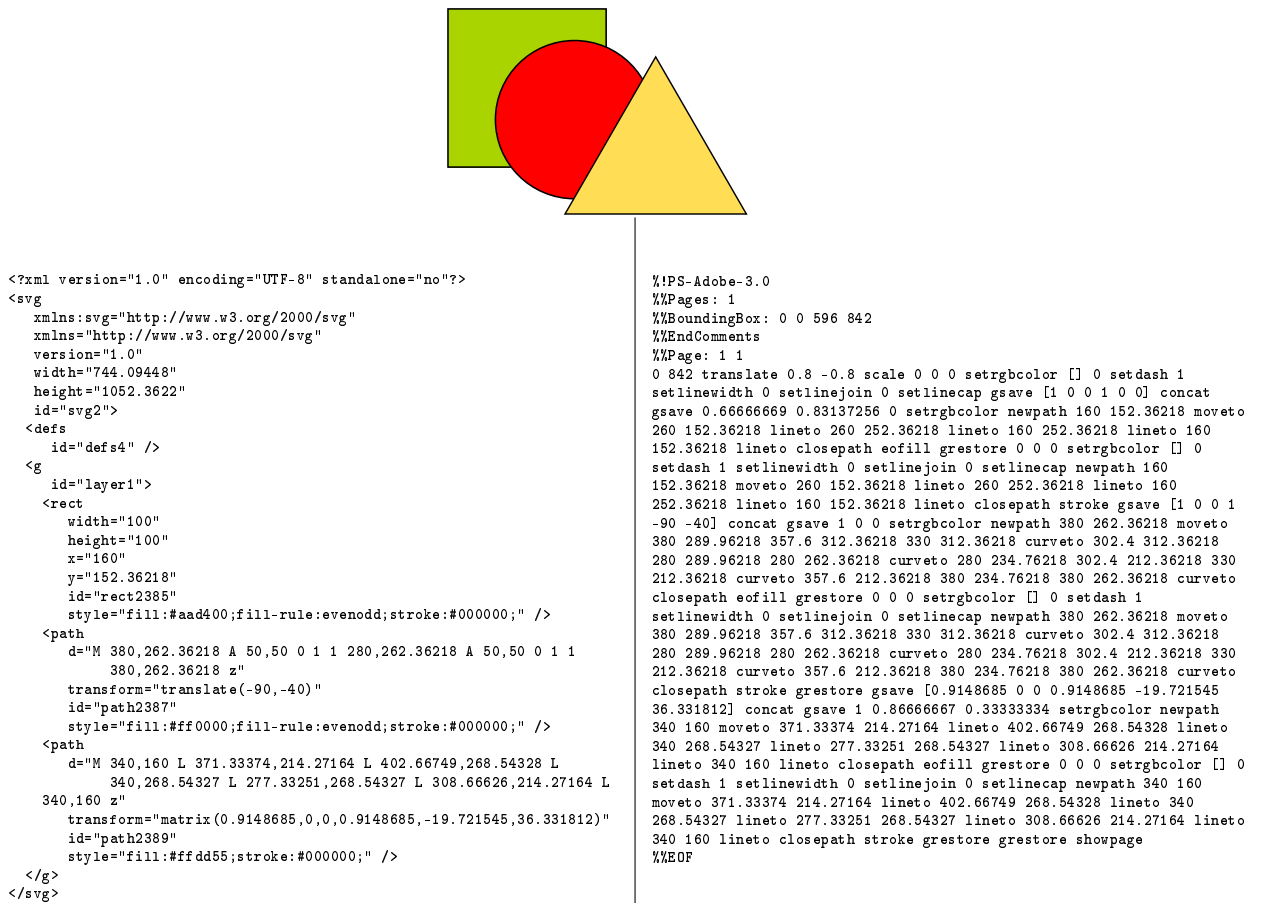
La couleur de chaque point de l'image est définie par un ensemble de valeurs numériques qui indiquent les *coordonnées* de la couleur dans un *espace colorimétrique*. Dans le cas des images monochromatiques, la couleur est en fait une valeur unique qui définit un niveau de gris sur une échelle normalisée (par exemple entre 0 pour le noir et 1 pour le blanc). Il existe de nombreux espaces colorimétriques standards ayant des propriétés et des usages différents :

- Dans le cadre de la synthèse additive, les principaux types de systèmes utilisés sont les systèmes perceptuels comme *HSV Hue Saturation Value*, les systèmes luminance-chrominance comme $L^*u^*v^*$ ou *YCbCr* (utilisé en vidéo) et les systèmes trichromiques comme *RVB (Rouge Vert Bleu)*.
- Dans l'impression, où la synthèse soustractive est nécessaire, le système quadrichromique *CMYK (Cyan Magenta Yellow Key black)* est très souvent utilisé, plus rarement l'hexachromie.

Cela n'est qu'un bref aperçu des principaux espaces. La colorimétrie est un sujet extrêmement riche et complexe, qui dépasse le cadre de ce travail. Pour une description plus complète, nous invitons le lecteur à consulter des ouvrages comme [TFMB04].

Images vectorielles

L'autre forme sous laquelle les images peuvent être données est la forme dite *vectorielle*. Dans ce cas, les images ne sont plus représentées sous forme d'un signal numérique à deux dimensions, mais par une description, plus ou moins directe, de la succession des *opérations de tracé* nécessaires à la restitution de l'image sur un support plan. Le format définit donc un ensemble d'opérations de tracé.

FIGURE 2.6 – Codage d'une image *vectorielle* : un code SVG et un code POSTSCRIPT équivalents.

Le processus par lequel cette description vectorielle est transformée en une image, au sens de signal, sur un support est appelé *rasterizing* ; il consiste de fait à ré-exprimer le contenu sous forme d'une image raster sur le support final, par exemple écran ou papier. Cette opération est effectuée par un composant logiciel qui « connaît » le format du fichier, et qui va pouvoir reconstruire de manière déterministe l'image qui en résulte. Deux exemples de codage sous forme vectorielle d'une même image sont données sur la figure 2.6.

Il existe de multiples formats d'image basés sur ce principe. De nombreuses applications exploitent des données qui sont par nature géométriques, possiblement enrichies d'attributs spécifiques liés au domaine d'application. C'est le cas par exemple du dessin technique. De ce point de vue, les fichiers ainsi définis se rattachent plus ou moins directement à la catégorie des images vectorielles. Parmi les formats les plus répandus, spécifiquement dédiés à la visualisation graphique, nous pouvons retenir les suivants :

PostScript Plus qu'un format, le PostScript est un « langage de description de page », véritable langage de programmation pour une machine virtuelle incluant un certain nombre de primitives graphiques. Celles-ci permettent de définir des formes, afin d'en tracer le contour et d'en remplir la surface, et permettent aussi la gestion des fontes. Introduit en 1985 par Adobe Systems et destiné à l'impression, il avait pour vocation de définir un standard permettant de spécifier avec un maximum de qualité la mise en page de divers types de documents, et ce, indépendamment du dispositif d'impression. Tandis que les documents PostScript sont conçus comme des pages, le format EPS (*Encapsulated PostScript*) est une extension qui permet la définition d'objets graphiques autonomes pouvant être intégrés dans d'autres documents.

PDF (*Portable Document Format*) Ce format, introduit dans les années 90, est aussi développé par la société Adobe. L'objectif est principalement l'échange de documents électroniques, avec les mêmes attentes quant à la qualité d'impression. Au contraire de PostScript, il définit, d'une part un format avec des notions d'objets et de structure, et d'autre part un modèle de rendu pour ces objets, permettant la restitution du document sur le support final. Par rapport à PostScript, il offre une gestion plus fine du principe composite du document.

SVG (*Scalable Vector Graphics*) SVG est issu des travaux de normalisation du consortium W3C. Il vise à définir un modèle de document graphique pour le WEB. Au même titre qu'HTML, SVG est basé sur la norme XML, ce qui lui permet de s'intégrer dans l'ensemble des normes développées de manière orthogonale au W3C : notamment les notions d'hyperliens, de styles, de dynamique. Au même titre que PDF, SVG définit, outre le format, un modèle de rendu avancé permettant d'être adapté à différents types de supports. La norme se décline d'ailleurs pour les périphériques embarqués. Bien qu'étant une norme très prometteuse, le SVG tarde à s'imposer du fait du manque de support par les navigateurs.

La manière de définir les couleurs dans les images vectorielles reste la même que pour les images rasters. Les différents espaces de couleurs peuvent être utilisés, même si les plus courants sont souvent le *RVB* pour la visualisation sur écran, et le *CMYK* pour les images vectorielles surtout destinées à l'impression.

2.4.2 Extraction d'information par le contenu

Content-Based Image Retrieval

Le terme CBIR (*Content-Based Image Retrieval*) a été vraisemblablement introduit en 1992 par Kato [Kat92] pour décrire des expérimentations de recherche automatique dans des bases de données d'images, en utilisant des descripteurs visuels comme la couleur et la forme. Depuis lors,

la recherche d'images par le contenu s'est imposée comme un champ de recherche majeur. Le nombre de publications relevant de ce domaine a crû très fortement depuis la deuxième moitié des années 90. Il peut être défini comme la discipline qui s'attache à l'indexation et la recherche d'images par dérivation du contenu de l'image elle-même, plutôt que par l'utilisation d'informations contextuelles permettant d'en suggérer le contenu, c'est-à-dire tous types d'annotations ou de méta-données intégrées « manuellement ».

Les domaines d'application pour ce type d'approche sont nombreux [GR95] et la question se pose de manière d'autant plus évidente que le développement des techniques, à la fois en terme d'acquisition, de stockage et de transfert, entraîne un accroissement considérable du nombre des images numériques produites.

L'étude des différents usages des images et des types de requêtes associés a conduit la communauté du CBIR à classifier l'ensemble des requêtes envisageables selon trois niveaux [Eak96, Eak01]. Ces trois niveaux reflètent la complexité croissante de la tâche de recherche, du fait du degré d'abstraction requis pour y répondre :

- Le premier niveau comprend l'ensemble des requêtes basées uniquement sur des propriétés graphiques « simples », comme la couleur, la texture, la forme, ou supposant un type peu complexe de raisonnement spatial : position relative des objets, position des objets dans l'image. À ce stade, les critères déterminants sont considérés comme objectifs, et aucune autre connaissance extérieure à l'image n'est nécessaire pour répondre à la question posée.
- Le deuxième niveau comprend l'ensemble des requêtes du type « trouver des images représentant une voiture rouge » ou « trouver des photos de la statue de la Liberté ». Là encore, les critères restent relativement objectifs, dans la mesure où l'objet désigné correspond à une réalité physique qui pourra être identifiée sur une image sans réelle ambiguïté. La principale différence avec le niveau précédent est que le système doit nécessairement disposer d'une base de connaissances lui permettant, d'une part de « comprendre » de quels objets il est question (une voiture et la statue de la Liberté), et d'autre part d'accéder aux attributs spécifiques de ces objets grâce auxquels le système pourra les « reconnaître » sur une image.
- Le dernier niveau comprend les requêtes impliquant des concepts abstraits, et qui requièrent un très haut niveau de raisonnement avant de pouvoir dériver ces concepts de l'image. À titre d'exemples, Eakins cite la recherche d'image concernant un événement sportif, un fait culturel, ou encore la recherche d'une image traduisant une certaine émotion ou sensation.

Quelques systèmes de recherche d'images

De nombreux systèmes de recherche d'image par le contenu ont été proposés. Ces systèmes utilisent des techniques de traitement du signal afin de caractériser les images pour donner une

mesure de leur pertinence dans le cadre d'une requête donnée.

QBIC (*Query By Image Content*) [FBF⁺96] est l'un des premiers systèmes de recherche d'image par le contenu. Les requêtes sont basées sur des mot-clefs associés aux images, un choix de couleur, un choix de texture, une image donnée en exemple ou encore un schéma tracé par l'utilisateur. Ce système est développé par IBM.

MARS (*Multimedia Analysis and Retrieval System*) [RHOM98] propose une organisation de plusieurs caractéristiques visuelles des images dans une architecture qui peut s'adapter à différentes applications et à différents utilisateurs, en utilisant notamment un retour de pertinence.

BlobWorld [CBGM02] est basé sur la recherche de régions cohérentes de l'image (*blobs*) correspondant à des objets. Les images sont segmentées en régions auxquelles sont associés des descripteurs de couleur et de texture. Les requêtes sont basées sur les attributs de quelques régions d'intérêt, plutôt que sur l'image entière.

FIPS (*Flexible Image Database System*) [BS99] propose une architecture d'indexation et de recherche d'image offrant la possibilité de spécifier les mesures de distance à utiliser pour appairer les images. Le système permet aussi de prendre en compte des mot-clefs dans la recherche.

IKONA [BFF⁺01] est une plate-forme développée à l'INRIA dans le cadre du projet IMEDIA portant sur l'indexation multimedia par le contenu et la recherche interactive. Ce système, basé sur la reconnaissance d'objet, permet de gérer des bases d'images génériques ou spécifiques à un domaine. Il offre une interface de recherche par l'exemple et permet d'améliorer la recherche en proposant un système de retour de pertinence.

Nowak et Jurie[NJ07] proposent un algorithme permettant de mesurer la similitude entre deux images jamais vues auparavant. Ces images représentent différentes instances d'objets d'une même classe générique (visages, véhicules, etc). Le principe du système est de construire une mesure de similarité à partir d'une base d'apprentissage composée de paires d'images données comme étant soit *identiques* (les deux images représentent le même objet) ou *différentes*. L'utilisation de descripteurs locaux permet une grande robustesse aux variations des vues, comme les occlusions partielles, les variations d'éclairage, d'angle, de fond, etc.

2.4.3 Problème de la sémantique de l'image

Comme le relèvent de nombreux auteurs [SWS⁺00, VSvdB02], les systèmes de recherche d'image par le contenu sont confrontés à un problème de « fossé sémantique » entre les besoins de haut niveau et le caractère bas niveau des techniques et implémentations. Les approches numériques utilisées (couleur, texture, détection de surface et de contours) ne permettent pas, dans le cas général, de répondre de manière satisfaisante aux attentes en terme de contenu sémantique. Le postulat de Marr [Mar82] d'un système de vision humaine basé sur une analyse *bottom-up* de l'image permettant de la comprendre semble difficile à mettre en œuvre.

La difficulté que présente l'extraction d'une sémantique de l'image, par rapport au texte, peut s'expliquer par l'absence de structure dans sa forme numérique. Selon la théorie de l'information développée par Shannon [SW49] et reprise par Moles [Mol86], la transmission d'un message implique le codage de celui-ci sous forme d'une suite de symboles, le récepteur et l'émetteur partageant cet ensemble de symboles comme « champs » dans lequel peuvent prendre forme des contenus sémantiques. Dans le texte sous forme numérique, l'ensemble des symboles disponibles sont les lettres de l'alphabet, dont le codage est régi par différentes normes telles que l'ASCII ou l'Unicode. Il s'agit en fait de la forme numérique de l'abstraction de la langue par l'alphabet évoqué dans la première section. Ainsi, si l'on considère, à l'instar de Saussure ou Hjelmslev [Hje66] que l'on peut trouver un sens, l'expression d'une pensée, dans la combinatoire de ces signes (« Une langue existe si à m+e+r s'attache une idée » [dS02]), alors des traitements sémantiques sur le texte sont envisageables par l'analyse de motifs. Cette analyse est facilitée, d'une part par la correspondance simple entre l'abstraction alphabétique et le dénombrement inhérent à l'informatique, et d'autre part par les capacités de « calcul symbolique » de la machine qui permettent de mettre en œuvre des traitements combinatoires.

Mais à la différence de la langue, l'image n'est pas un système. Dans le cas de l'image numérique, les briques de base que sont les pixels n'ont pas de caractère symbolique. Ils ne constituent pas des signes élémentaires de l'abstraction d'un langage, mais la discrétisation d'une mesure physique. Dès lors leur agencement ne traduit pas intrinsèquement, structurellement, l'expression d'une idée que des méthodes numériques de traitement pourraient retrouver. Dans les images vectorielles, la notion de structure est plus présente puisqu'il s'agit d'une description formelle des formes à tracer. Certains formats comme le SVG sont d'ailleurs très proches des documents textuels dans la richesse de leur structure. Le problème de la sémantique ne se pose donc pas de la même manière. Néanmoins, il reste posé pour deux raisons. D'abord, beaucoup d'images parmi celles qui nous concernent dans le cadre de cette étude, à l'origine vectorielles, ne sont diffusées dans les documents que sous forme raster, et ce pour diverses raisons : choix (ou non choix) technique, contraintes éditoriales, etc. En outre, même dans les images vectorielles, la « mémoire » du mode de construction de celles-ci est perdue ; il ne reste dans l'image que les primitives graphiques dont la structuration ne reflète pas nécessairement la logique qui a conduit

à les produire.

2.4.4 Conclusion

Dans la perspective de ce travail, nous pouvons donc préciser un peu la définition de l'image telle que nous nous proposons de l'exploiter, en la concevant comme un élément structurant du document composite, porteur d'une information d'ordre sémantique au sein de ce document, mais dont la forme elle-même, bien qu'identifiée informatiquement, ne reflète pas ou peu cette sémantique. Les possibilités de manipuler le contenu de ces images, qui sont liées à leur format et à leur codage, ne permettent pas de retrouver de manière immédiate des indices sémantiques pertinents pour le discours porté par le document.

De ce fait l'image en tant que telle reste souvent un nœud (au sens défini dans la section précédente) de l'hyperdocument, dont le contenu sémantique n'est que très peu pris en compte dans les analyses des documents. Nous décrivons dans la section suivante la notion de modalité par laquelle nous nous proposons de structurer l'image en faisant abstraction de son format, de sa spécificité de média, pour la caractériser en temps que mode d'expression d'une information.

2.5 Exploitation de la multimodalité

Dans ce second chapitre, nous avons évoqué l'aspect composite du document, en avançant l'idée que l'information inscrite sur le support passe par différentes composantes. Nous avons vu en outre comment l'idée du sens du document pouvait être envisagé au travers de la notion de lien : liens entre documents, liens à l'intérieur du document révélant les interactions entre ses composantes. Le sens dès lors se construit par une navigation portée par ces liens. Mais dans le formalisme informatique du document, ces liens ne peuvent s'ancrer que sur des éléments structurants, et donc caractéristiques de ces composantes. Or l'image, comme nous l'avons montré, n'a pas de structure car ce n'est pas un système. Nous abordons maintenant la notion de *modalité*, par le biais de laquelle nous considérons les composantes imagées du document.

2.5.1 Notion de modalité

Le terme de modalité est perçu différemment selon les domaines qui l'utilisent, bien que l'idée générale puisse être partagée. La modalité est toujours liée à la notion de communication et d'information, mettant en œuvre différents canaux sensori-moteurs tels que la vision, la parole, etc.

En interfaçage homme-machine (IHM), Nigay [NC96] entend par modalité l'association d'un

dispositif physique (comme la souris, le clavier ou l'écran) à un système de représentation assurant une fonction de communication (langue naturelle, langage de commande, etc.). Ici l'information est très formalisée et les canaux bien définis. Dans des domaines comme la cybernétique ou la psychologie cognitive, la canne blanche peut constituer une modalité remplaçant la vue, car elle est un mode de perception du même monde à travers un canal tactile plutôt que visuel. Dans ce cadre, le message en lui-même est très lié au canal sensoriel. En linguistique, la notion de modalité permet « d'exprimer les diverses manières dont le contenu est envisagé par le locuteur » [Nig96]. C'est plutôt cette définition qui nous intéresse ici.

Dans le cadre du document structuré, nous définissons une modalité comme un *mode d'expression* particulier mis en œuvre dans le document. Une différence avec d'autres contextes utilisant la notion de modalité est que dans cette forme de communication, il n'y a pas d'interaction « instantanée » possible entre l'auteur et le lecteur, l'émetteur et le récepteur. Dès lors, l'information est mise en forme par l'auteur selon des conventions, des règles qui permettent au lecteur de ré-interpréter le document, avec un minimum d'ambiguïté, puisque celles-ci ne pourront pas être levées par une interaction entre les deux acteurs. Dans le cas d'un document tel que celui qui nous intéresse, véhiculant une information très structurée et précise, le principe de construction, de rédaction, de composition est très important. Les modalités envisagées dans le document correspondent à ces différentes manières de mettre en forme l'information, tant dans leur forme construite, c'est-à-dire les structures physique et logique qui en découlent, que dans leur principe de fonctionnement cognitif, c'est-à-dire la manière dont est perçue l'information à travers cette modalité. Nous notons ici que, si le premier aspect structurel peut donner lieu à une modélisation informatique (c'est l'objet du chapitre 3), la formalisation de l'aspect cognitif n'est envisagée qu'au travers de propositions de traitements automatiques autour de ces modèles, une opérationnalisation de différentes tâches de lecture.

Un point important à noter est que la modalité, telle que nous la considérons, est à distinguer de ce que nous appelons *média*, comme le texte, le son, l'image, la vidéo, qui sont peut être souvent confondus avec la modalité. La modalité prend corps dans un médium, mais elle correspond à un *grain* plus fin, à une utilisation particulière de celui-ci, qui permet de le structurer : par exemple la carte structure l'image. Nous dirons que toute modalité s'inscrit dans un média, mais un média peut exprimer différentes modalités. C'est au travers de cette notion, que nous proposons de pallier le fossé sémantique propre à l'image soulevé dans la section précédente. Afin d'illustrer cette définition, voici quelques exemples de ce qui peut constituer, de notre point de vue, des modalités dans un document :

- sonnet : il n'est pas utilisé *a priori* pour des documents à caractère discursif (car il n'est pas une forme rhétorique acceptable pour une argumentation), mais il peut constituer une modalité dans le sens où il définit un mode particulier, structuré et identifiable d'utilisation de l'écrit, portant un message à caractère essentiellement esthétique. Bien sûr le sonnet n'est qu'un exemple parmi d'autres constructions poétiques constituant elles aussi des modalités.

- formulaire : cette modalité utilise une forme souvent simplifiée de la langue, permettant un accès efficace à une information bien définie. La structure physique du formulaire reflète très fortement la structure logique, le modèle de l'information attendue.
- schéma, diagramme : ces modes d'expression sont très utilisés dans de nombreux cadres, car ils permettent d'exprimer visuellement des concepts et des relations entre ceux-ci, qu'il serait beaucoup plus difficile, voire impossible, à faire passer de manière purement textuelle. Ce sont des constructions graphiques exprimant une information souvent très structurée.

Il n'est pas possible de dresser une liste exhaustive des modalités existantes. Tout d'abord celles-ci peuvent être liées à un domaine spécifique dans lequel l'information manipulée peut conduire à l'élaboration de modes de représentations particuliers. En outre, l'interprétation de l'information véhiculée par une composante donnée du document peut varier avec le niveau d'expertise du lecteur. Définir une modalité associée à une telle composante consisterait plutôt à se positionner dans un continuum de modalités, mettant en avant tel ou tel aspect, permettant tel ou tel niveau d'interprétation. Finalement il est très probable que des facteurs culturels jouent pour beaucoup sur la manière de lire ces *systèmes de signes*. Ainsi nous envisageons la définition et l'étude d'une modalité, ici la carte géographique, dans le contexte d'un usage particulier.

Nous reprenons l'exemple du sonnet pour faire le lien avec ce qui a été dit dans ce chapitre sur les notions de document, de structure, de forme et de sens. Par rapport à d'autres modalités textuelles, le sonnet utilise un certain nombre d'éléments structurants tels que les pieds, les vers, les strophes, organisés de manière spécifique qui font de lui un sonnet. Une analyse de texte, c'est-à-dire une lecture particulière visant à proposer une interprétation, à expliciter un sens au sonnet, s'appuie nécessairement sur ces éléments de structure. Ceux-ci constituent donc des *ancres*, qui vont être caractéristiques de cette modalité, sur la base desquelles des lectures au sens général peuvent être proposées.

Ces considérations renvoient au problème évoqué dans la section 2.4.3, quant au fait que la structure logique d'un document n'apparaît plus nécessairement dans la forme sous laquelle celui-ci est donné. Les concepts de vers ou de strophes n'existent pas en tant que tels dans un fichier PDF par exemple, qui pourra cependant être le support du sonnet. Celui-ci peut aussi être donné sous forme de texte brut sans mise en forme, ou encore sous forme d'image numérisée. Considérer le sonnet comme tel dans un document correspond donc à une vue particulière, à un choix d'organisation du contenu du média guidé par la tâche.

2.5.2 Comment considérer une approche multimodale

Si différentes modalités sont utilisées dans les documents, c'est qu'elles ont, tout au moins du point de vue de l'auteur, une utilité dans le message véhiculé. Certaines études démontrent l'efficacité de la multimodalité dans l'assimilation d'information au cours de la lecture [DV00].

Du point de vue de l'extraction d'information la multimodalité est évidemment un moyen de désambiguïser l'interprétation d'un document au sens large, et donc d'améliorer la pertinence de l'extraction. Ce besoin de convergence entre les différents média apparaît relativement clairement dans les travaux d'extraction [SRH⁺00, SZR00, IDF⁺05].

Afin de proposer des interprétations fines du contenu des documents, il est donc nécessaire d'exploiter cette multimodalité. Une telle coopération (ici entre deux modalités) peut être considérée selon trois principes, selon la nature de ces modalités ou selon la tâche :

- analyser l'une et l'autre séparément ; On considère que les deux composantes sont suffisamment auto-descriptives, et le croisement de l'information ne se fait éventuellement qu'après.
- analyser l'une pour analyser l'autre ; une des deux composantes ne peut pas être interprétée sans l'aide de l'autre, qui au contraire se suffit à elle-même.
- analyser les deux de manières conjointes ; Les deux composantes font appel l'une à l'autre de telle manière qu'elles sont inexploitablement indépendamment.

Nous illustrons maintenant à travers deux exemples comment l'information peut être répartie entre les différentes composantes du document, et en quoi le fait de pouvoir retrouver ces relations constitue un plus en terme d'extraction.

Premier exemple

Le premier exemple que nous développons est l'extrait d'un manuel de biologie¹² présenté sur la figure 2.7. Ce passage présente le mode de production de l'ATP par une cellule sans dioxygène.

Le texte explique le principe en détail, en donnant à la fois une explication des mécanismes et en expliquant leur nécessité dans le contexte général. Les deux images permettent quant à elles de visualiser rapidement le cycle précis dans chacun des cas. Là où le texte peut être un peu fastidieux, les images accélèrent la compréhension du phénomène. En outre, même si le texte donne un certain nombre de détails, les images apportent également des précisions non explicitées dans le texte, notamment les formules chimiques exactes des composants entrant en jeu dans les processus décrits.

Sur la forme, nous notons les appels explicites aux figures, ainsi qu'une composition montrant bien le parallèle entre les deux types de fermentation : la superposition des figures (a) et (b), ainsi que leur similitude visuelle.

12. Neil A. Campbell et Jane B. Reece, *Biologie*, Édition De Boeck Université, 2004

Deuxième exemple

Le deuxième exemple (figure 2.8) est extrait d'un atlas thématique de géographie¹³.

L'extrait présente une carte accompagnée d'un texte court. Le lien implicite entre les deux, et qui fait la cohérence globale du document, est suggéré à la fois par la thématique (les résidences secondaires construites après 1975) et par la mise en forme matérielle. Ces deux éléments peuvent être considérés individuellement, dans la mesure où ils constituent chacun une modalité complète et cohérente, capable d'exprimer de l'information. L'observation croisée des deux permet cependant d'exprimer plus d'information que chacun d'eux. Le texte et la carte s'enrichissent mutuellement.

En dehors de toute autre spécification du contexte, la carte apporte au texte une précision sur l'espace géographique global sur lequel porte l'observation. En effet, le texte évoque les quelques espaces où le phénomène est le plus marqué, mais sans évoquer les limites géographiques de l'observation. En outre là où celui-ci se contente de donner une tendance très générale et synthétique, la carte apporte beaucoup plus de détail. D'une part elle quantifie le phénomène, et d'autre part elle précise son implantation géographique. Elle montre notamment des singularités particulièrement marquées (en l'occurrence la Basse-Normandie, le Pas-de-Calais et la Moselle) ainsi qu'une zone particulièrement *faible* dans le centre.

Le texte, quant à lui, donne une explication au motif spatial observé sur la carte. Il suggère un lien entre la spatialisation observée du phénomène et une autre thématique, celle de l'aménagement touristique. En fait, on observe que l'auteur du texte propose un point de vue sur le phénomène, une lecture générale qui lui permet de synthétiser et d'expliquer le schéma spatial, quitte à passer sous silence certains aspects du phénomène. Notons aussi que par cette explication, il nous renseigne aussi sur la spatialité de cet autre phénomène, complètement absent de la carte. En fait, il nous renseigne presque plus sur celui-ci que sur le phénomène dont il est question à l'origine.

2.5.3 Différents travaux exploitant la multimodalité

Un pré-requis essentiel pour pouvoir analyser une modalité est, bien sûr, de disposer d'un modèle au travers duquel celle-ci va être considérée. La linguistique en général offre des bases intéressantes pour traiter les modalités textuelles. Elle définit des concepts qui permettent, en quelque sorte, de manipuler la langue selon une mécanique indépendante du domaine d'application. Il semble moins évident de définir des modalités s'attachant à des composantes non linguistiques. Notons néanmoins que cette question se pose en particulier pour les diagrammes,

13. Rémy Knafou, *Tourisme et loisirs*, Collection Atlas de France, Volume 7, RECLUS, La Documentation Française, 1997

qui sont l'objet de nombreux travaux en psychologie cognitive [VP98, Ber00]. Leur utilisation massive en informatique pour formaliser toutes sortes de concepts témoigne de leur importance sémantique dans le cadre de la pensée rationnelle. De ce point de vue les efforts de normalisation d'UML peuvent être considérés comme visant à établir une description de cette modalité.

Cela peut expliquer le fait qu'il ne semble exister que peu de travaux proposant une exploitation fine des différentes modalités autres que textuelles, et à plus forte raison de l'interaction entre celles-ci dans le cadre de l'extraction d'information. En voici quelques-uns :

Le système PICTION (*PICTure - capTION*) [SB94, Sri94] constitue un bon exemple de système résolument multimodal. Il a pour objectif d'associer le nom et le visage de personnes représentées sur une photographie illustrant un article journal. L'analyse textuelle de la légende associée à la photographie permet de déterminer le nom des personnes représentées, ainsi que leur position relative sur l'image, ou toute autre contrainte visuelle. L'analyse de l'image permet de retrouver les visages, qui peuvent ensuite être étiquetés en résolvant les contraintes déterminées précédemment.

Dans des travaux antérieurs à cette thèse, portant sur le lien entre le texte et l'image, Malandain [Mal00, MGM01] définit le principe d'une chaîne de traitement d'analyse de documents géographiques, permettant de mettre en relation des éléments d'informations textuelles avec ceux de la carte. L'implémentation en elle-même se limite à la partie textuelle.

Afin de proposer une compréhension fine des documents géographiques, en vue de construire des moyens d'accès avancés à l'information géographique, le projet GéoSem (programme des STIC et SHS du CNRS) s'oriente vers une analyse linguistique poussée des composantes textuelles de ce type de documents, ainsi qu'une étude de la composante cartographique.

Lucas[Luc05] aborde la question de la multi-modalité dans ce type de documents en s'intéressant à la relation entre la construction rhétorique du document et sa structuration matérielle. En observant la manière et les endroits où sont fait les appels à figures, elle tente de mettre en évidence l'existence de motifs structurels corrélés à une organisation du discours. Dans cette étude le contenu de la carte en tant que modalité n'est pas envisagé.

Une autre approche[WFB04] s'intéressant au contenu des composantes consiste à exploiter l'expression de la notion de contraste dans les documents géographiques, portant à la fois sur les modalités textuelles et cartographiques. La notion de contraste est en effet centrale dans la réflexion du géographe : contraste dans la répartition spatiale d'un phénomène, contraste dans l'expression de différents phénomènes sur un même espace. Cela fait de la notion assez générale de contraste un axe sémantique pertinent, qui va être exprimé dans les documents. Nous reviendrons sur ce point ultérieurement.

2.6 Conclusion

Même si l'écrit reste dans bien des cas une composante essentielle des documents composites, il est clair que celui-ci ne véhicule pas à lui seul l'intégralité de l'information contenue dans le document, si tant est que celle-ci soit réellement « quantifiable ». Cela est d'autant plus évident que, dans certains contextes, l'écrit, au sens de transcription de la parole, n'a pas de raison d'être, ou tout au moins n'est pas la raison première. C'est le cas par exemple d'une partition musicale.

En se restreignant aux nombreux contextes dans lesquels la notion de document revêt un caractère plus « informatif », c'est-à-dire dont la nature relève de la dialectique ou de la rhétorique, la constatation reste la même. Manuels scolaires, atlas thématiques, études sociologiques sont riches en diagrammes, schémas, cartes et autres éléments para-textuels sur lesquels le discours s'appuie. Sans ceux-ci, il apparaîtrait confus, voire ambigu, et nécessiterait d'être considérablement alourdi pour être précis, perdant par là-même en efficacité. Il est clair que le message est efficacement porté par la lecture croisée des différentes composantes, chacune exprimant l'information selon une certaine modalité, et se faisant mutuellement référence, de manière explicite ou implicite.

Si cette constatation peut sembler évidente, il s'avère néanmoins que peu de travaux portant sur la recherche d'information dans le document, à des niveaux sémantiques plus ou moins élevés, cherchent à exploiter ces différentes modalités, et à plus forte raison les liens sémantiques qui existent entre leurs instances dans le document. Une des raisons qui, à notre avis expliquerait cet état de fait, est que les analyses développées sur les composantes textuelles ou « images » sont basées sur des problématiques davantage posées en terme de forme (structure informatique de l'élément) que de fond (rôle de l'élément dans le document pour la transmission d'information).

Le travail présenté ici se base sur le principe selon lequel la recherche d'information dans un document composite gagnerait à être abordée sous l'angle des modes d'expression mis en œuvre dans celui-ci. Cette idée semble particulièrement pertinente dans le cas des documents qui sont le support d'un discours argumenté, et donc susceptibles d'être riches en information sémantique de haut niveau. Les modalités utilisées dans ces documents participent au discours général. Se pose alors la question de savoir s'il est possible de caractériser le fonctionnement de ces modalités, en tant que formes porteuses d'un discours, de manière presque linguistique. Cela implique de poser le problème en deux temps.

1. Spécifier un domaine qui, indépendamment des objets concrets qui seront traités, définisse un champ sémantique, un cadre dans lequel raisonner. Il s'agit de déterminer en quelque sorte la nature de l'information qui sera considérée, à la fois du point de vue des auteurs et des lecteurs.
2. Caractériser la manière dont cette information s'exprime dans ce domaine. Il s'agit de

répertorier les modes d'expression particulièrement pertinents, et de caractériser leur fonctionnement, c'est-à-dire de déterminer la manière dont l'information est véhiculée dans une modalité particulière.

Dans cette étude, nous nous intéressons au document géographique, c'est-à-dire un document produit par des géographes et véhiculant un type d'information très particulier. Nous nous attachons plus spécifiquement à décrire et à exploiter la modalité cartographique, très prégnante dans ce type de document. Dans le chapitre suivant nous présentons un point de vue sur le fonctionnement intrinsèque d'une modalité graphique et sa capacité à exprimer une information. Cette sémiologie graphique nous servira de base pour proposer un modèle informatique de la carte thématique.

électronégatif, qui attire les électrons vers le bas de la chaîne, la phosphorylation oxydative cesse. Cependant, beaucoup de cellules s'en passent pour oxyder leurs nutriments. Au lieu de produire leur ATP au moyen de la respiration cellulaire aérobie, certaines utilisent la respiration cellulaire anaérobie, et d'autres, la fermentation. La **respiration cellulaire anaérobie** est une voie catabolique de production d'énergie à partir de molécules organiques et à l'aide d'une chaîne de transport d'électrons. Cependant, celle-ci conduit les électrons à un accepteur final différent du dioxygène, tel que NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_2 , Fe^{3+} , etc. Par exemple, certaines bactéries réduisent les nitrates (ou trioxonitrates, NO_3^-) en nitrites (ou dioxonitrates, NO_2^-); d'autres réduisent les sulfates (ou tétraoxosulfates, SO_4^{2-}) en sulfure de dihydrogène (H_2S); d'autres encore réduisent le dioxyde de carbone (CO_2) en méthane (CH_4), etc. Par ailleurs, certaines cellules utilisent une voie métabolique productrice d'énergie en l'absence de dioxygène et sans l'intermédiaire d'une chaîne de transport d'électrons; ces cellules fabriquent leur ATP grâce à la fermentation.

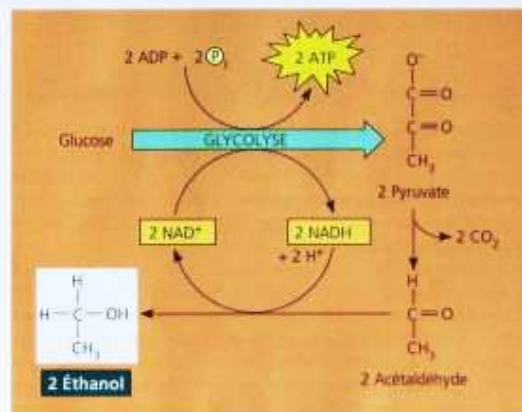
La fermentation permet à certaines cellules de produire de l'ATP en l'absence de dioxygène

Comment les nutriments se font-ils oxyder sans dioxygène? La glycolyse oxyde une mole de glucose en deux moles de pyruvate; l'agent oxydant est le NAD^+ , et *non* le dioxygène. Dans la glycolyse, l'oxydation du glucose est exergonique, et une partie de l'énergie libérée est utilisée pour produire deux moles d'ATP (net) par phosphorylation au niveau du substrat. En présence de dioxygène, la phosphorylation oxydative produit des moles d'ATP additionnelles quand le $\text{NADH} + \text{H}^+$ transfère les électrons du glucose à la chaîne de transport d'électrons. Cependant, que le dioxygène soit présent ou non, c'est-à-dire que les conditions soient **aérobies** ou **anaérobies** (du grec *aër*, qui signifie « air », et *bios*, « vie »; le préfixe *an* signifie « sans »), la glycolyse à elle seule, c'est-à-dire sans la contribution d'une chaîne de transport d'électrons, génère toujours deux moles d'ATP.

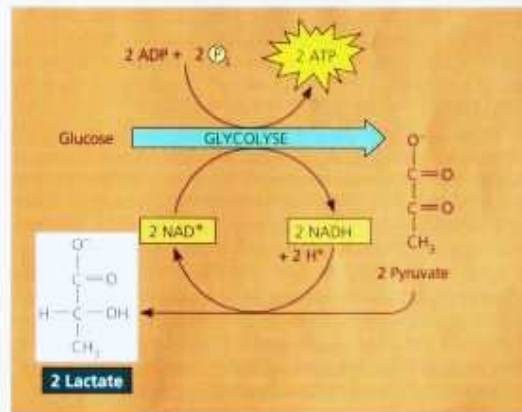
Comme nous l'avons mentionné au début du chapitre, le catabolisme anaérobie des nutriments organiques peut emprunter la voie de la fermentation. Celle-ci constitue un prolongement de la glycolyse; elle engendre de l'ATP par phosphorylation au niveau du substrat tant qu'il y a suffisamment de NAD^+ pour accepter les électrons pendant la phase d'oxydation de la glycolyse. Sans un mécanisme de recyclage du $\text{NADH} + \text{H}^+$ en NAD^+ , la glycolyse épuiserait vite la réserve cellulaire de NAD^+ et elle s'arrêterait, faute d'un agent oxydant. Chez les organismes aérobie, le $\text{NADH} + \text{H}^+$ est recyclé en NAD^+ par le transfert des électrons à la chaîne de transport. Chez les organismes fermentatifs, les électrons du $\text{NADH} + \text{H}^+$ sont transférés au pyruvate, le produit final de la glycolyse, ou à des dérivés du pyruvate. Le NAD^+ peut alors servir de nouveau pour l'oxydation du glucose dans la glycolyse et produire deux moles d'ATP grâce à la phosphorylation au niveau du substrat. Il existe plusieurs types de fermentation, dont la fermentation alcoolique et la fermentation lactique. Ils se distinguent par les sous-produits formés à partir du pyruvate.

Dans la **fermentation alcoolique** (FIGURE 9.17a), le pyruvate est converti en éthanol en deux étapes. Dans la première, du dioxyde de carbone est enlevé au pyruvate; celui-ci devient de l'acétaldéhyde, un composé à deux atomes de carbone. Au cours de la seconde étape, le $\text{NADH} + \text{H}^+$ réduit l'acétaldéhyde en éthanol, régénérant ainsi le NAD^+ nécessaire à la glycolyse. Dans l'industrie brassicole ou vinicole, on déclenche la fermentation alcoolique au moyen de levures, des microorganismes appartenant au règne des Eumycètes. Beaucoup de bactéries réalisent aussi la fermentation alcoolique.

Au cours de la **fermentation lactique** (FIGURE 9.17b), le pyruvate se fait réduire directement par le $\text{NADH} + \text{H}^+$ du lactate



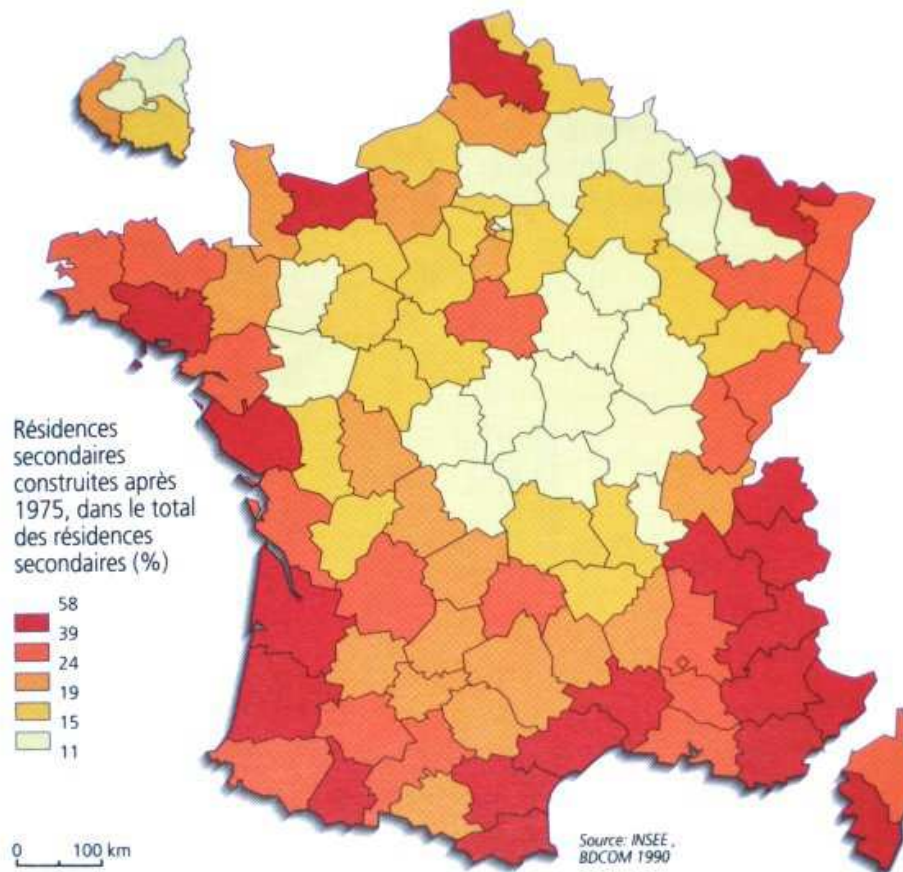
(a) Fermentation alcoolique.



(b) Fermentation lactique.

FIGURE 9.17 Fermentation. En l'absence de dioxygène, plusieurs types de cellules font appel à la fermentation pour produire de l'ATP par phosphorylation au niveau du substrat. Le pyruvate, le produit final de la glycolyse, sert d'accepteur d'électrons pour l'oxydation du $\text{NADH} + \text{H}^+$ en NAD^+ . Le NAD^+ peut ensuite servir de nouveau pendant la glycolyse. Deux des produits principaux de la fermentation sont (a) l'éthanol et (b) le lactate, la forme ionisée de l'acide lactique.

FIGURE 2.7 – Exemple de document multimodal en biologie



7.4.6. Résidences secondaires construites après 1975

Elles sont concentrées dans les régions qui ont connu les grands programmes d'aménagement touristique : côte landaise, littoral languedocien et Alpes.

FIGURE 2.8 – Exemple de document géographique multimodal

Chapitre 3

Information et Modalité : Sémiologie Graphique

3.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons caractérisé le document multi-modal comme un ensemble de composantes mettant chacune en œuvre une modalité particulière. La capacité qu'a une modalité d'exprimer une information réside dans sa logique interne, dans les relations structurantes qu'elle impose entre les éléments qui la constitue. La notion de sémantique dans les composantes textuelles est assez naturellement associée à la structure du langage. De manière très synthétique, nous dirons que la grammaire nous donne des règles permettant d'établir des relations sémantiques entre des mots ou lemmes. Les structures rhétoriques permettent d'organiser la logique d'un discours. Même si la chose n'est pas si évidente, il existe des bases théoriques sur lesquelles construire des modélisations du texte. Mais de quels types de règles similaires disposons-nous pour appréhender une composante essentiellement graphique ? Comment parler de grammaire dans ce cadre ?

Le modèle théorique sur lequel nous basons notre proposition a été développé par Jacques Bertin [Ber73]. Il s'agit d'un modèle de l'information et de sa représentation graphique dans le plan qui englobe entre autre la carte. L'intérêt du modèle réside d'une part dans son indépendance vis-à-vis du domaine d'application (même s'il est particulièrement pertinent en géographie), et d'autre part dans le fait qu'il ne se cantonne pas à un mode de représentation particulier, mais définit un cadre général permettant d'étudier tout type de représentation graphique. Il distingue de manière claire l'information en elle-même de sa représentation, tout en explicitant les relations profondes entre ces deux aspects. Bien que reconnus au niveau international, les travaux de Bertin ne semblent pas avoir bénéficié d'une attention extraordinaire [Mon02] ; il est notamment critiqué pour n'avoir pas resitué sa théorie par rapport à d'autres travaux en cognition, leurs conférant une impression de spontanéité peu appréciée dans le monde scientifique. Il a néanmoins construit

sa théorie sur sa grande expérience de production de documents. Les concepts élaborés dans ces travaux constituent une base essentielle de l'enseignement et de la pratique de la géographie, en particulier de la cartographie [Pau94].

Initialement, les travaux de Bertin étaient plutôt destinés à poser des bases théoriques, à définir un cadre formel, permettant aux personnes amenées à produire des documents de construire correctement leurs représentations. Cette correction est définie à deux niveaux. D'abord l'observation de la représentation graphique doit bien traduire l'information proposée, c'est-à-dire que des erreurs graphiques ne biaisent pas la lecture du phénomène. La connaissance du fonctionnement du système graphique est donc nécessaire pour assurer cette adéquation. Ensuite, le mode de représentation choisi doit permettre au lecteur de retrouver efficacement l'information souhaitée. Si l'on fait l'analogie avec un dictionnaire, c'est le respect de l'ordre alphabétique qui fait que le lecteur peut retrouver efficacement la définition d'un mot donné. La recherche du numéro d'une personne dans un annuaire téléphonique n'est efficace que si l'on connaît le nom de la commune. Le choix d'un mode de représentation particulier rend efficace certaines entrées, au détriment d'autres modes de lecture qui deviennent difficiles ou inapplicables.

3.2 Modèle de l'information

Bertin avance qu'« une pensée est une relation entre divers concepts que l'on a reconnus et isolés pendant l'instant nécessaire, parmi la multitude des concepts imaginables ». Afin d'être communiquée, une pensée doit nécessairement être exprimée ou représentée au moyen d'un système de signes. L'information est alors ce que l'on peut transcrire d'une pensée, à savoir une série de correspondances originales entre un ensemble fini de concepts de variation, appelés aussi *composantes*. Cette série de correspondances s'inscrit dans un contexte commun à l'ensemble de l'observation que l'on appelle *invariant*. Cet invariant est indispensable pour cadrer l'information et ainsi pour savoir ce dont il est question. Il donne sa cohérence à l'information.

Nous illustrons ces concepts par un exemple. Considérons l'information suivante : *évolution du PIB par habitant en France entre 1960 et 2003*, représentée par le graphique de la figure 3.1. L'invariant, commun à toutes les observations, est « le PIB par habitant en France ». C'est ce qui ne change pas dans toute la mesure et qui permet donc de comparer entre elles les différentes valeurs de la série. Ici, les deux composantes sont :

- les montants du PIB,
- le temps, donné ici en année.

Considérons maintenant l'information *évolution du PIB en France, en Autriche et en Belgique entre 1960 et 2003* (figure 3.2). L'invariant devient « le PIB ». Les composantes sont :

- les montants du PIB

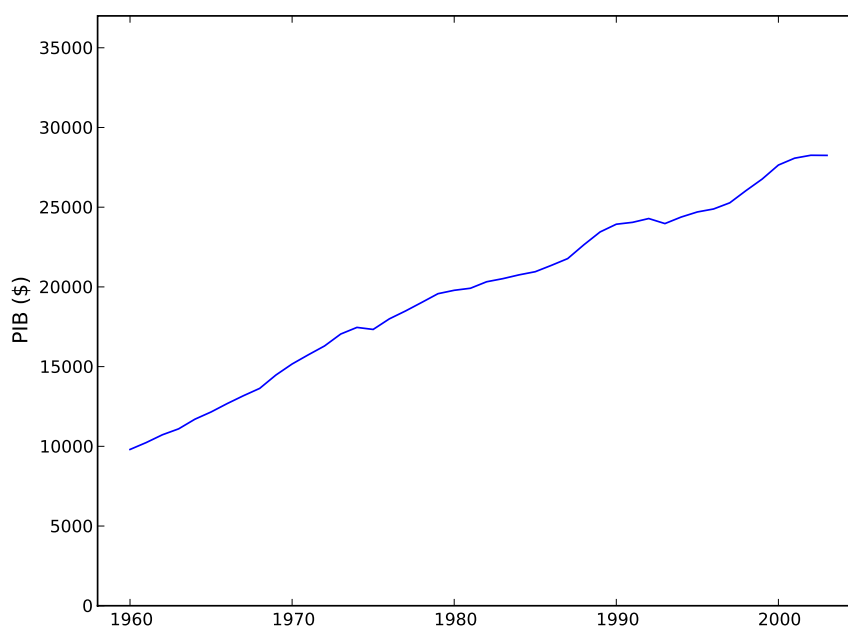


FIGURE 3.1 – Exemple 1 : PIB par habitant en France entre 1960 et 2003

- le temps, toujours en année.
- les pays considérés, donc la France, l'Autriche et la Belgique

En effet, une correspondance valable de cette information doit maintenant nécessairement associer une valeur du PIB à un temps donné pour un pays.

Précisons un peu la notion de composante. Une composante est la définition d'un concept de variation. C'est d'une certaine manière une dimension de l'information. Chaque composante définit les valeurs qui vont entrer en jeu dans les correspondances, ainsi que les propriétés spécifiques à ces valeurs. Ces composantes ont en l'occurrence une *longueur* et un *niveau d'organisation*.

La longueur définit le nombre de valeurs différentes que vont pouvoir prendre les éléments de la série. Cette caractéristique est importante dans le choix d'une représentation. Si l'on considère une composante *sexe*, sa longueur est deux (homme ou femme). Quand sa longueur est inférieure à quatre, une composante est dite *courte*. Au delà de quinze, on parle de composante *longue*. Les valeurs continues n'ont pas de longueur. C'est le cas, par exemple, des valeurs du PIB précédemment.

Le niveau d'organisation d'une composante caractérise la manière dont les valeurs de cette composante peuvent être comparées. On distingue trois niveaux d'organisation :

- le niveau qualitatif : il correspond à l'ensemble des concepts qui ne sont pas intrinsèquement

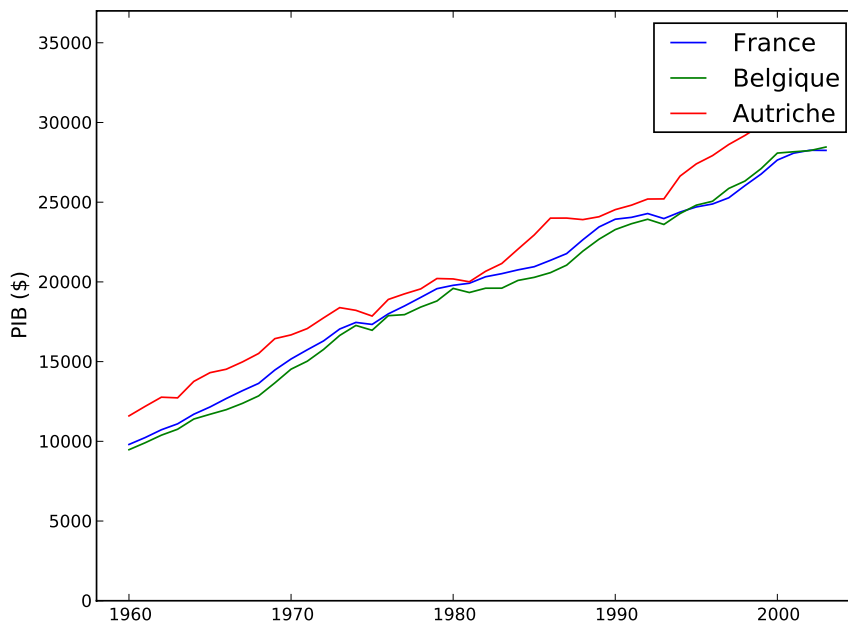


FIGURE 3.2 – Exemple 2 : PIB par habitant entre 1960 et 2003

régis par un ordre universel. Ce sont en fait des valeurs symboliques. C'est par exemple le cas des pays dans les exemples précédents.

- le niveau ordonné : dans ce cas, les concepts répondent normalement à un ordre admis : par exemple le découpage en classe d'âge.
- le niveau quantitatif : il correspond aux cas où les valeurs correspondent à des grandeurs, et qu'il est possible de définir une distance entre deux valeurs. Il existe deux sous-catégories : les *effectifs* (l'unité est indivisible : nombre de personnes) et les *mesures* (l'unité est sécable : masse, longueur, etc.)

La notion de niveau d'organisation est très importante pour la représentation correcte de l'information.

Nous notons que cette conception de l'information n'est somme toute pas très différente de la manière dont elle est perçue en traitement du signal où un signal est défini comme « la description de la manière dont un paramètre est lié à un autre » [Smi97]. Dans ce cas les paramètres en question correspondent aux composantes de notre information. La principale différence entre les deux conceptions est que dans le cas du traitement numérique du signal, on ne s'intéresse en fait qu'à des signaux, sinon continus, tout du moins discrétisés (échantillonnés) à partir d'une grandeur continue, et dont la dimension y , l'*amplitude*, est fonction de la dimension x , appelée le *domaine* (par exemple domaine fréquentiel ou temporel). Dans le cas présent, les compo-

santes de l'information ne correspondent pas toujours, voire rarement, à des grandeurs physiques mesurables. L'une des composantes au moins est souvent d'ordre symbolique, même si celle-ci peut aussi avoir un caractère quantitatif et ordonné ; c'est par exemple le cas d'un découpage en tranche d'âge.

3.3 Représentation graphique

Représenter graphiquement l'information c'est transcrire dans le plan les séries de l'observation telle qu'elle est décrite ci-dessus. Il s'agit donc de retranscrire visuellement les variations des composantes de l'information. Pour ce faire, on utilise les propriétés du système graphique.

L'idée est que dans le plan supposé uniforme et continu, l'élément unitaire permettant d'exprimer visuellement quelque chose est la *tache*. Cette tache peut *recevoir* trois significations, ou *implantations* qui correspondent à la logique de son fonctionnement sémiotique : ponctuelle, linéaire, ou zonale. Pour exister elle doit disposer de certains attributs qui la rendent visible. Plus précisément c'est la variation de ces attributs qui permet de distinguer deux taches. On appelle *variables visuelles* l'ensemble de ces attributs. Celles-ci, illustrées à la figure 3.3 sont au nombre de huit :

- (A) la forme,
- (B) la taille,
- (C) la valeur (l'intensité)
- (D) le grain,
- (E) la couleur (la teinte),
- (F) l'orientation,
- (G) la position dans les deux dimensions du plan.

Ces variables forment en fait les composantes du système graphique. Tout comme les composantes de l'information, les variables visuelles ont des propriétés significatives qui vont pouvoir exprimer un niveau d'organisation. Ainsi, la taille traduit de manière naturelle une variation quantitative. Elle est donc adaptée pour représenter une mesure, un effectif. Au contraire, la couleur ou la forme procèdent visuellement de manière dissociative. Ces dernières variables sont donc incapables de représenter une composante ayant un niveau d'organisation quantitatif, tel qu'une mesure. Par contre, elles sont très pertinentes pour représenter des classes. La notion de longueur des composantes est aussi importante dans le choix des variables visuelles.

Représenter une information nécessite donc de mobiliser une variable visuelle pour exprimer chacune des composantes de cette information. Notons que chaque variable visuelle ne peut être sollicitée qu'une seule fois. Si la couleur est utilisée pour représenter une composante, elle ne peut plus être mobilisée pour en représenter une autre, car une tache ne peut avoir deux

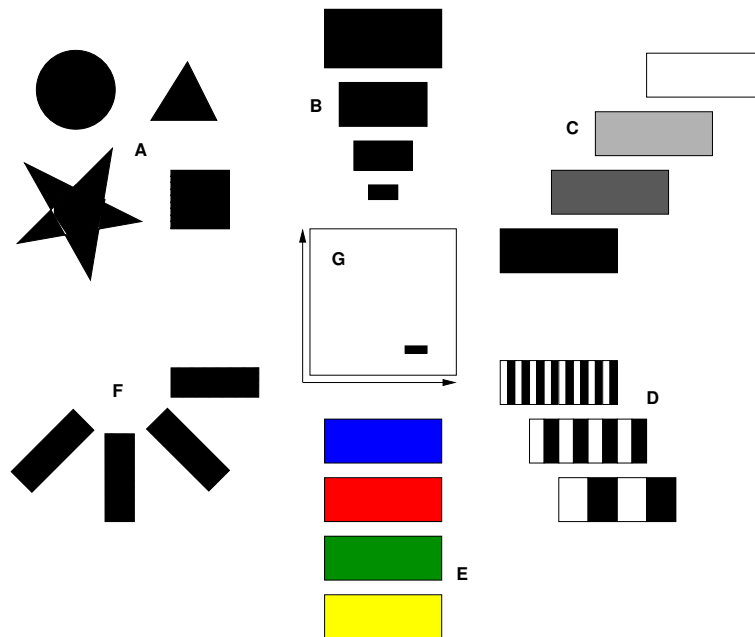


FIGURE 3.3 – Les variables visuelles

couleurs en même temps. Le corollaire est donc qu'il est théoriquement impossible de représenter graphiquement une information à plus de huit composantes. Dans la pratique l'homme n'est plus capable d'appréhender une information au delà de quatre composantes.

Dans le cas de la représentation donnée par la figure 3.1, les composantes *temps* et *valeurs du PIB* sont représentées en mobilisant la variable de position, respectivement sur les axes x et y , pour traduire leur variation respective. Le niveau d'organisation de cette variable position du plan est utilisé pour traduire les niveaux d'organisation respectivement ordonné et quantitatif de ces deux composantes.

L'exemple de la figure 3.2 présente une composante supplémentaire. Celle-ci mobilise alors une nouvelle variable visuelle, la couleur, pour différencier les deux entités. Le choix de la couleur permet une lecture efficace, car le niveau d'organisation de cette variable est qualitative, tout comme la composante géographique, et n'induit donc pas un ordre. Notons qu'un autre choix de variable aurait pu être fait. Si l'on avait choisi d'utiliser encore la position dans le plan, il aurait alors fallu différencier les trois pays en réalisant trois graphiques séparés, ce qui ne permet pas une lecture comparative efficace.

L'image représentant une information se décompose logiquement en trois parties :

- les éléments servant à l'*identification externe*, c'est-à-dire les éléments qui définissent l'invariant : le titre, les légendes, les composantes, etc.
- les éléments d'*identification interne*, c'est-à-dire ceux qui permettent la lecture de l'information. Ils définissent les variables visuelles qui sont mobilisées pour représenter chaque

composante et comment la lecture doit se faire, par exemple le temps croissant sur l'axe des abscisses.

- les éléments constituant la représentation de la série observée.

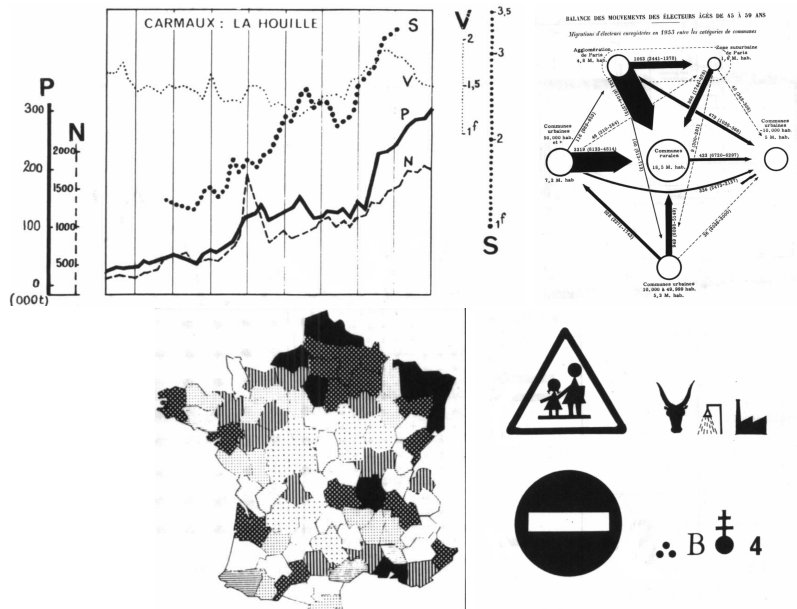


FIGURE 3.4 – Groupes d'imposition

L'*imposition* définit un mode d'utilisation particulier des deux dimensions du plan pour représenter une information. Bertin décrit quatre groupes d'imposition illustrés par la figure 3.4 :

- le diagramme : il est utilisé lorsque qu'il est possible d'établir dans le plan une correspondance entre toutes les valeurs de deux composantes. On obtient alors un graphique tel que ceux présentés plus haut.
- le réseau : il est utilisé pour organiser les éléments d'une même composante en fonction des relations qui existent entre eux-ci. Dans le cas d'un schéma relationnel, les éléments sont disposés de manière à représenter efficacement des relations.
- la carte géographique : assez proche du réseau, elle est utilisée pour organiser les éléments d'une composante spécifiquement géographique, mais en les disposant selon l'ordre géographique supposé universellement admis.
- la symbolique : C'est un cas un peu à part, qui ne traduit pas par le graphique lui-même des relations de nature universelle entre des éléments, mais qui fait appel de manière conventionnelle aux habitudes du lecteur.

Dans le cas de la cartographie qui nous concerne, l'information représentée contient nécessairement une composante géographique. Dès lors que son niveau d'organisation est qualitatif, les éléments de cette composante correspondent à des entités géographiques spécifiques distinctes.

À ces entités sont associées des valeurs thématiques, définies par la ou les autres composantes de l'observation.

3.4 Conclusion

La théorie présentée succinctement ici est particulièrement adaptée pour la tâche que nous nous sommes fixé. D'abord, les concepts d'information tels qu'ils sont définis sont pertinents dans le contexte du document et de l'information géographique, et applicables informatiquement ; les données quantitatives ou qualitatives sont aisément manipulables. En outre les règles et les concepts relatifs au système graphique sont indépendants du domaine, ils offrent donc une manière générique d'aborder les composantes graphiques du document.

Cette théorie est donc une base pertinente pour fixer un cadre informatique permettant de formaliser le contenu de la carte et d'en proposer des interprétations, vues comme des calculs sur le modèle. Elle nous permet de définir une modalité au sens décrit dans le premier chapitre, puisqu'elle décrit quelle information se retrouve dans l'image et comment cette image fonctionne. En outre elle définit précisément où se retrouvent les relations entre le domaine sémantique concerné et l'expression dans le document.

Finalement, elle est suffisamment générique pour envisager l'étude d'autres modalités voisines telles que les graphiques.

C'est sur cette vision de l'intrication entre information et représentation au sein du document que nous proposons une modélisation informatique de la carte géographique permettant d'en expliciter la dimension sémantique. Cette modélisation est l'objet du chapitre suivant.

Deuxième partie

Proposition

Chapitre 4

Modèle de la carte thématique

4.1 Introduction

Dans ce chapitre nous proposons un modèle informatique de la carte géographique. L'objectif de celui-ci est de décrire formellement la carte thématique, telle qu'elle a été présentée dans le premier chapitre, en terme de modalité au sens du chapitre deux.

Cette description doit donc permettre de caractériser la manière dont s'exprime l'information géographique à travers ce mode d'expression, et de retrouver les différents concepts liés à l'information géographique qui ont été présentés dans le premier chapitre, notamment la notion d'entité géographique. La structure que définit le modèle fournit ainsi des éléments sémantiquement pertinents, pouvant être utilisés comme ancres dans la perspective de constituer des liens au sein du document.

Ce modèle doit en outre nous permettre de proposer des « raisonnements », c'est-à-dire être utilisé pour calculer des interprétations dans le cadre de tâches de lecture particulières, tout en fournissant un moyen de juger de leur pertinence par rapport aux concepts décrits. Des exemples de telles interprétations sont présentés dans le chapitre suivant.

Finalement, il convient de noter que le modèle proposé doit être informatiquement « réaliste » : d'une part sa mise en œuvre ne doit pas poser de problèmes techniques particuliers ; d'autre part il doit refléter convenablement les différentes cartes, au sens informatique, auxquelles nous serons confrontés, et permettre de les analyser pour les exprimer dans ce modèle. Il s'agit ici du problème de la reconstruction ou de la rétro-analyse du document.

Nous nous appuyons sur les principes de la théorie sémiologique décrite dans le chapitre précédent pour proposer notre modèle informatique. Nous commençons par décrire en détail le modèle lui-même, articulé autour de trois aspects : physique, graphique et logique. Finalement,

nous discutons la pertinence du modèle en montrant à travers quelques exemples la manière dont il peut être mis en pratique.

4.2 Proposition d'un modèle de carte

Nous proposons ici une modélisation informatique de la carte thématique. Elle vise à proposer une description structurelle de la carte, en tant que mode d'expression dans le document numérique, permettant de faire ressortir les différents concepts décrits jusqu'à présent ; concepts autour desquels est organisée l'information telle que nous la considérons.

Le modèle se dérive en trois aspects. Le terme « aspect » a été choisi plutôt que « couche » ou « niveau », car ceux-ci induisent l'idée d'une hiérarchie dans l'abstraction proposée, alors que le modèle vise plutôt à refléter différents points de vue sur le mode d'expression. Nous détaillons ces trois aspects : physique, graphique et logique.

4.2.1 Aspect physique

L'aspect physique de la carte englobe l'ensemble des informations de bas niveau concernant la forme sous laquelle est donnée cette carte : typiquement le format de fichier, ainsi que d'autres données associées comme le nom du fichier, les spécificités du format de fichier, etc. Il peut aussi contenir des informations sur le contexte de l'image, par exemple le corpus dont elle est issue, le contexte au sens large dans lequel la carte apparaît. En reprenant la distinction faite au premier chapitre entre mode d'expression et média, l'aspect physique correspond à une description générale du média dans lequel s'inscrit la carte ; il décrit l'image en tant que contenant.

Cet aspect ne présente pas de formalisme particulier. Il est simplement considéré comme un ensemble assez libre d'attributs/valeurs, qui reflète de manière faiblement structurée l'*environnement* de la carte. Cet aspect est en fait principalement dédié à guider et améliorer les traitements ultérieurs sur l'analyse et la mise en valeur du contenu de la carte, en particulier au cours du processus de reconstruction des autres aspects, c'est-à-dire l'expression du contenu dans les autres aspects du modèle.

Parmi les différentes informations envisageables pour l'aspect physique, et potentiellement pertinentes, nous pouvons dégager les suivantes :

- tout d'abord le *fichier* (de manière simplifiée) lui-même, c'est-à-dire la source numérique qui va constituer la carte. Puisque le système va être amené à travailler sur un document numérique, il faut nécessairement que ce contenu soit *accessible* quelque part. Le rôle de conservation d'un lien vers ce contenu est assez naturellement confié à l'aspect physique, dès lors que le terme *physique* peut être vu comme désignant la *forme numérique non-*

interprétée de la carte.

- le *mimetype*, qui définit de manière universelle le type de contenu du fichier et son format. Les *mimetypes* sont utilisés par de nombreuses applications, en particulier dans le cadre d'échange de données par Internet (mail, http), afin de choisir des actions différentes selon le type de fichier à traiter. Ils concernent aussi bien les contenus audio, image, vidéo que les programmes informatiques, les langages de programmation et les données spécifiques à certaines applications. Les applications susceptibles de produire ou d'exploiter des cartes ont tout intérêt à prendre en compte cette classification. C'est notamment le cas d'Adobe Illustrator pour lequel le *mimetype* spécifique `x-application/illustrator` existe.
- la source, qui identifie de manière assez souple l'origine du document. Il peut s'agir par exemple d'un organisme émetteur, dont les cartes présentent certaines particularités rédactionnelles. Une telle connaissance doit pouvoir être exploitée le cas échéant.
- les paramètres de numérisation dans le cas où la carte est issue d'un ouvrage papier. Ces paramètres peuvent inclure la résolution, le modèle de scanner, le type de capteur, ou toute autre information susceptible de guider les traitements ultérieurs, notamment la rétro-conversion. Dans le cas des images *raster*, il existe différents standards permettant d'associer ce type de méta-données aux fichiers. Parmi ceux-ci nous pouvons citer la norme Exif de Kodak qui définit un certain nombre de champs, ou encore le système d'attributs du format TIFF.

Le manque apparent de formalisme et le flou qui entoure la définition de cet aspect n'est pas particulièrement gênant. En fait, cet aspect prend son sens dans le cadre de la mise en place pratique d'un outil de traitement des cartes. Si une information spécifique apparaît comme pertinente à l'usage, pour préciser ou optimiser certains traitements, le système peut se donner les moyens de la prendre en compte.

Cet aspect est donc important du point de vue technique, car c'est lui qui va permettre le lien avec le média, mais sa description formelle n'a pas d'intérêt théorique à proprement parler ; elle est même impossible. La sous-spécification ici apparente est effectivement le reflet et la conséquence de la grande variété des formes informatiques sous lesquelles peuvent être présentées les cartes. Il est impossible de les décrire toutes, il s'agit donc, à l'usage, de les caractériser au mieux.

4.2.2 Aspect graphique

Une carte est un objet essentiellement graphique. Lorsque l'on traite des parties textuelles d'un document dans des problématiques de traitement automatique des langues, le texte est presque *naturellement* décomposé de manière atomique en caractères. Les procédés d'analyse peuvent opérer à différents niveaux comme le mot, le groupe, la phrase, ou sur des découpages dans les mots. Quelque soit le ou les niveaux pris en compte, il s'agit toujours d'une décomposition en caractères élémentaires. L'aspect graphique de la carte, exprimé dans le modèle proposé ici,

reflète la décomposition de cette carte en briques élémentaires, c'est-à-dire l'*alphabet* graphique, support de l'information. La construction de ce modèle est pilotée par deux facteurs. D'abord par l'observation des usages informatiques, c'est-à-dire les modèles de représentation des informations graphiques, plus ou moins riches, qui sont habituellement utilisés en visualisation et impression. Le deuxième facteur est l'observation des principes de construction des cartes géographiques, à savoir quels sont les indices graphiques au sens large qui sont pertinents et couramment utilisés dans la construction de ces documents. Ces indices doivent évidemment permettre de retrouver les notions de variables visuelles décrites dans la section précédente.

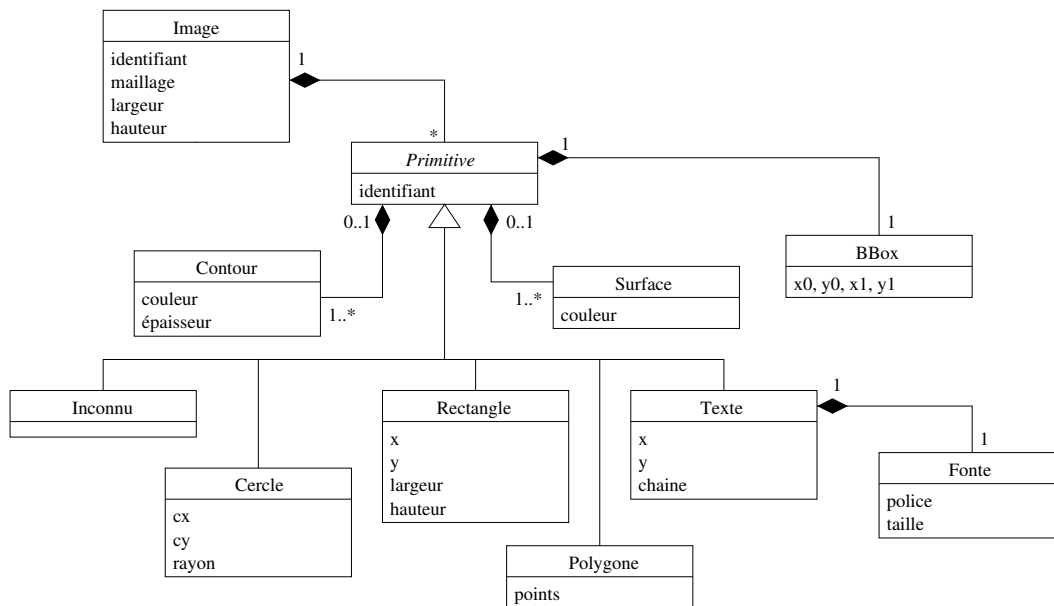


FIGURE 4.1 – Aspect graphique

Un diagramme UML correspondant à la modélisation de cet aspect est présenté à la figure 4.1. Nous considérons une image comme un canevas sur lequel sont empilés des éléments graphiques. Ces éléments graphiques sont des instances de différentes primitives graphiques. Celles retenues sont les suivantes :

- rectangle : Le rectangle est une primitive particulièrement courante dans les cartes. Il est notamment utilisé dans les légendes. C'est une forme simple, sémiotiquement pertinente.
- cercle : De la même manière, le cercle est un objet graphique très fréquent. Il permet notamment de signifier des entités ponctuelles.
- ligne : La ligne brisée n'est pas fréquemment utilisée dans les cartes. Nous la retenons ici dans un souci de cohérence.
- polygone : Le polygone permet de représenter une surface quelconque. Il est bien sûr primordial en cartographie puisqu'il permet de représenter la géométrie des entités géographiques.
- texte : la carte contient un certain nombre d'indications textuelles, dans les légendes ou sur le fond de carte. Ces informations ont un contenu informatif fort et il est indispensable

de les capter. Au niveau d'abstraction auquel nous nous situons, nous considérons le texte comme une primitive.

- invalide/inconnue : Cette primitive un peu particulière permet de signaler la présence d'un élément graphique potentiellement pertinent mais qui, pour une raison ou pour une autre, n'a pas pu être exprimée correctement selon l'une des autres primitives. Elle est notamment utilisée lors de la rétro-conversion lorsque le module d'analyse détecte des objets incohérents ou relevant de primitives plus complexes que celles proposées dans le modèle.

À chacun de ces éléments sont associés des attributs de style qui définissent leur apparence. Ces attributs sont :

- le contour : il spécifie le type de tracé utilisé pour représenter le contour des objets, en l'occurrence sa couleur et sa largeur.
- la surface : elle spécifie le remplissage des objets. Cet attribut n'est valable que pour les primitives de nature surfacique. Il s'agit dans la plupart des cas de la couleur, mais il peut aussi décrire un motif de remplissage.
- la police : uniquement dans le cas des textes, cet attribut spécifie la fonte utilisée (si celle-ci est connue) ainsi que des informations comme la taille, la graisse et la casse.

L'aspect graphique d'une carte est donc défini par une surface rectangulaire d'une dimension donnée, regroupant un ensemble d'éléments graphiques, chacun d'eux étant sensé avoir un rôle particulier dans la carte. Cet aspect peut ainsi être vu comme une image vectorielle telle que décrite dans le premier chapitre. Il ne s'agit pas en fait de définir ici un modèle graphique vectoriel complet comme SVG ou PDF. Cela dépasserait bien évidemment le cadre de cette étude et n'offrirait que peu d'intérêt. L'objectif souhaité est au contraire de disposer d'un ensemble simple, réduit et cohérent de primitives permettant de décrire au mieux le contenu graphique des cartes.

4.2.3 Aspect logique

L'aspect logique traduit l'organisation de l'ensemble des éléments qui font de l'objet graphique en question une carte. Pour reprendre l'analogie faite avec le texte dans la section précédente, l'aspect logique traduit en fait la *cohérence grammaticale* de la carte. Cet aspect reprend en grande partie les notions décrites dans la première section. Les principaux éléments structurants sont représentés sur la figure 4.2.

Chaque élément considéré dans l'aspect logique est lié à un ou plusieurs éléments de l'aspect graphique. Il précise, pour chaque élément graphique, son rôle sémiologique dans le modèle de l'information, et l'ensemble de ces éléments permet de traduire la logique de la représentation.

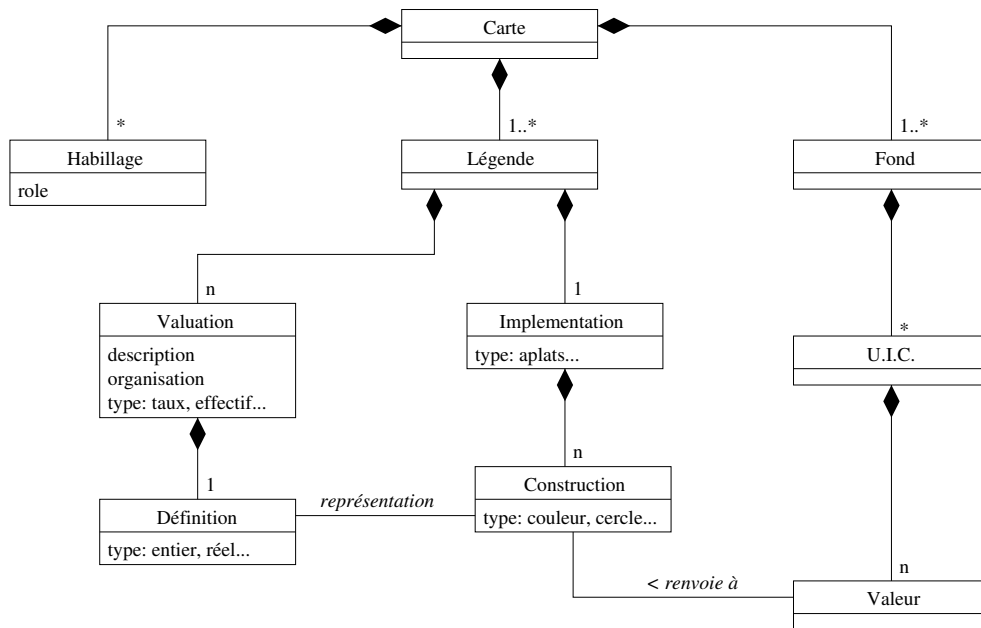


FIGURE 4.2 – Aspect logique

Habillage et fond de carte

Les éléments d’habillage sont les éléments qui ne constituent pas la représentation de l’information mais qui déterminent le contexte de l’observation. Ici il s’agit du titre, du sous-titre, du copyright, de la source des données, de l’échelle, etc. Ce sont des éléments à dominante textuelle.

Le fond de carte est l’ensemble des éléments graphiques qui précisent le contexte géographique de la carte. Il n’apporte pas d’information quant à la mesure elle-même mais délimite l’espace géographique sur lequel porte cette mesure. Si des toponymes¹⁴ sont présents sur ce fond de carte, ils peuvent être considérés comme des éléments d’habillage, dans le sens où ils servent à préciser le contexte de l’observation. Il ne font que « paraphraser » l’espace géographique exprimé graphiquement.

Légende

La légende joue un rôle fondamental puisqu’elle spécifie la thématique de la carte et son mode de représentation. Nous avons vu qu’une carte thématique est la construction issue de la mise en relation de plusieurs composantes, une composante étant définie de manière générale comme *une dimension de ce qui varie* dans l’observation. Le mode cartographique définit implicitement une composante géographique. Celle-ci n’est pas spécifiée dans la légende, mais, par nature, la

14. nom de lieu

carte va représenter des entités géoréférencées différentes, donc une variation de ces entités, qui constitue formellement une composante : la composante géographique. Les autres composantes thématiques de l'observation sont données par la légende, sans laquelle la lecture est impossible. La définition stricte d'une composante de l'observation est une *valuation*. Elle est décrite par quatre éléments :

- une description de la composante, sous forme textuelle ; Il s'agit de l'entrée spécifiée dans la légende ;
- le type de valeurs que vont prendre les données de cette composante : symbolique, taux, effectif, mesure, pour citer les principaux ;
- un niveau d'organisation, qui peut être qualitatif si les données sont des classes, ordonné si ces classes suggèrent une relation d'ordre, ou quantitatif si les données sont des valeurs numériques ;
- une définition, qui spécifie l'ensemble des valeurs possibles ; Il s'agira d'un ensemble de classes ou d'un intervalle de valeurs selon le type de la valuation et le niveau d'organisation.

Chaque légende a une et une seule *implémentation*, qui définit la manière dont sont construites graphiquement les associations de valeurs dans l'ensemble des composantes. Au sens de la sémiologie, il s'agit de définir les variables visuelles qui seront mises en œuvre dans cette représentation. Elle définit la liaison entre les valuations et la représentation graphique des données. Les implémentations auxquelles nous nous intéressons sont les aplats colorés, qui servent principalement à représenter des valuations en classes et les cercles proportionnels qui représentent des mesures ou des effectifs. Ce sont peut-être les deux types d'implémentations les plus couramment utilisés.

Dans le modèle décrit, une carte n'a pas nécessairement une légende unique. En fait, il y a une légende pour chaque association de composantes représentée de manière indissociée sur la carte, c'est-à-dire quand la représentation des valeurs partage une implémentation. Nous illustrerons ce point ultérieurement.

À chacune des valuations décrites, la légende associe donc la description formelle de la représentation utilisée. Au regard du modèle présenté ci-dessus, elle sert à l'identification interne.

Unités d'information cartographique

Les unités d'information cartographique (UIC) sont les représentations graphiques des séries de l'observation. À chaque entité géographique (les valeurs de la composante géographique) est associée une valeur thématique pour chacune des valuations précisées dans la légende. À travers les règles imposées par l'imposition choisie, cette association donne lieu à une représentation graphique. Ces UIC sont l'expression cartographique des entités géoréférencées. Là encore, nous reviendrons plus loin sur le lien entre ces unités, la légende et la composante géographique.

4.3 Étude de cas

Nous présentons dans cette section quelques exemples de cartes tirées de notre corpus¹⁵, à travers lesquels nous montrons comment le modèle s'applique concrètement. Après avoir présenté les cas les plus simples, nous pointons et discutons quelques difficultés conceptuelles ou particularités dans les usages.

4.3.1 Carte en aplats de couleurs

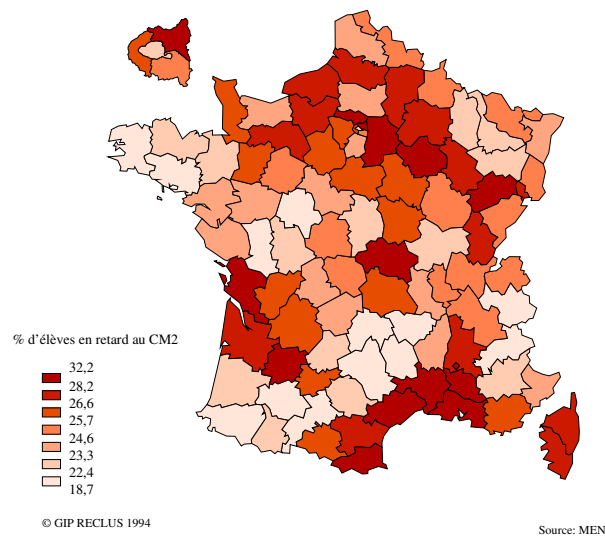


FIGURE 4.3 – Carte en aplats de couleurs

La carte en aplats colorés est un mode de représentation très courant, en particulier depuis que les coûts à la fois techniques et financiers induits par la couleur ont diminué. Largement facilitée par les outils numériques, cette représentation a supplanté la surface hachurée.

Ici la légende propose une seule composante, en plus de la composante géographique. La description de la valuation à laquelle elle correspond est « % d'élèves en retard au CM2 ». Le type de cette valuation est un pourcentage, et son niveau d'organisation est « ordonné », puisque les valeurs données sont en fait un intervalle. La définition de cette valuation est donc la liste des intervalles considérés.

La représentation choisie pour cette légende est en aplats colorés, utilisant une variation d'intensité dans une teinte marron-rouge. Chaque intervalle de la valuation est représenté par une couleur dans cette gamme. La définition de l'implémentation est donc la liste des couleurs de la gamme, donnée dans les rectangles alignés.

15. Atlas de la France Scolaire

Quelques éléments d’habillage sont présents : la source et le copyright. Le fond de carte se confond avec les unités d’information cartographique, qui sont l’ensemble des polygones colorés. À chacune de ces unités est associée une valeur dans la définition de l’implémentation de la légende, à savoir une entrée de la liste des couleurs, permettant de retrouver l’intervalle correspondant.

L’extrait suivant présente, sous forme hiérarchique, le contenu structuré de la carte tel qu’il est modélisé dans l’aspect graphique. Par souci de légèreté, seuls quelques-uns des éléments graphiques sont représentés ici.

```

1  image(component=58, aspectID=173)
2    rectangle#0(x=22,y=3442,w=85,h=44)
3      bbox: (22,3442) x (107,3486)
4      surface: color=rgb(1.00,0.90,0.85)
5      border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
6    text#2(string=u'18,7')
7      bbox: (134,3468) x (276,3557)
8      surface: color=rgb(0.00,0.00,0.00)
9      font: family=unknown style=unknown size=60
10   rectangle#3(x=22,y=3357,w=85,h=49)
11     bbox: (22,3357) x (107,3406)
12     surface: color=rgb(1.00,0.80,0.70)
13     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
14   text#5(string=u'22,4')
15     bbox: (134,3383) x (279,3472)
16     surface: color=rgb(0.00,0.00,0.00)
17     font: family=unknown style=unknown size=60
18   rectangle#6(x=22,y=3271,w=85,h=45)
19     bbox: (22,3271) x (107,3316)
20     surface: color=rgb(1.00,0.65,0.50)
21     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
22   text#8(string=u'23,3')
23     bbox: (134,3298) x (279,3387)
24     surface: color=rgb(0.00,0.00,0.00)
25     font: family=unknown style=unknown size=60
26   rectangle#9(x=22,y=3186,w=85,h=50)
27     bbox: (22,3186) x (107,3236)
28     surface: color=rgb(1.00,0.50,0.30)
29     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
30   text#11(string=u'24,6')
31     bbox: (134,3213) x (279,3302)
32     surface: color=rgb(0.00,0.00,0.00)
33     font: family=unknown style=unknown size=60
34   rectangle#12(x=22,y=3101,w=85,h=45)
35     bbox: (22,3101) x (107,3146)
36     surface: color=rgb(0.90,0.30,0.00)
37     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
38   text#14(string=u'25,7')
39     bbox: (134,3127) x (279,3217)
40     surface: color=rgb(0.00,0.00,0.00)
41     font: family=unknown style=unknown size=60
42   rectangle#15(x=22,y=3016,w=85,h=50)

```

```

43     bbox: (22,3016) x (107,3066)
44     surface: color=rgb(0.80,0.10,0.00)
45     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
46 ...
47     rectangle#18(x=22,y=2931,w=85,h=45)
48     bbox: (22,2931) x (107,2976)
49     surface: color=rgb(0.70,0.00,0.00)
50     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
51 ...
52     polygon#21(n=29, points=[[1585,2761), (1604,2768), (1610,2787)...])
53     bbox: (1585,2648) x (1776,2822)
54     surface: color=rgb(1.00,0.50,0.30)
55     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
56     polygon#22(n=34, points=[[1366,2139), (1364,2147), (1374,2150)...])
57     bbox: (1349,1962) x (1509,2198)
58     surface: color=rgb(0.80,0.10,0.00)
59     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
60     polygon#23(n=36, points=[[1255,2670), (1258,2683), (1282,2697)...])
61     bbox: (1254,2596) x (1486,2763)
62     surface: color=rgb(0.70,0.00,0.00)
63     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
64     polygon#24(n=39, points=[[1699,3122), (1701,3145), (1714,3151)...])
65     bbox: (1699,3001) x (1902,3197)
66     surface: color=rgb(1.00,0.80,0.70)
67     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
68     polygon#25(n=40, points=[[1688,3056), (1697,3069), (1715,3069)...])
69     bbox: (1686,2913) x (1915,3097)
70     surface: color=rgb(1.00,0.90,0.85)
71     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
72 ...

```

La structure logique de la carte est représentée dans l'extrait suivant. Il est à noter que certains éléments structurants dans l'aspect logique sont liés (par les références indiquées sous la forme *aspect#id*) à des éléments dans l'aspect graphique.

```

1  map(component=58, aspectID=174)
2    legend#0
3      implementation#10(type=colored/layer)
4        definition#11(type=color, valuation=#1)
5          entry#12(color=rgb(0.70,0.00,0.00)) [refs: 173#18]
6          entry#13(color=rgb(0.80,0.10,0.00)) [refs: 173#15]
7          entry#14(color=rgb(0.90,0.30,0.00)) [refs: 173#12]
8          entry#15(color=rgb(1.00,0.50,0.30)) [refs: 173#9]
9          entry#16(color=rgb(1.00,0.65,0.50)) [refs: 173#6]
10         entry#17(color=rgb(1.00,0.80,0.70)) [refs: 173#3]
11         entry#18(color=rgb(1.00,0.90,0.85)) [refs: 173#0]
12       valuation#1(type=numeric/percent,
13         organisation=class,
14         implementation=#11) [refs: 173#127]
15       description: "% d'élèves en retard au CM2"
16       definition#2(type=interval)

```

```

17         entry#3(28.2 -> 32.2) [refs: 173#20 173#130]
18         entry#4(26.6 -> 28.2) [refs: 173#17 173#20]
19         entry#5(25.7 -> 26.6) [refs: 173#14 173#17]
20         entry#6(24.6 -> 25.7) [refs: 173#11 173#14]
21         entry#7(23.3 -> 24.6) [refs: 173#8 173#11]
22         entry#8(22.4 -> 23.3) [refs: 173#5 173#8]
23         entry#9(18.7 -> 22.4) [refs: 173#2 173#5]
24     frame#22 [refs: 173#50]
25         unit#23 [refs: 173#21]
26             value(definition=#11): 3
27         unit#24 [refs: 173#22]
28             value(definition=#11): 1
29         unit#25 [refs: 173#23]
30             value(definition=#11): 0
31         unit#26 [refs: 173#24]
32             value(definition=#11): 5
33         unit#27 [refs: 173#25]
34             value(definition=#11): 6
35         unit#28 [refs: 173#26]
36             value(definition=#11): 4
37         unit#29 [refs: 173#27]
38             value(definition=#11): 4
39         unit#30 [refs: 173#28]
40             value(definition=#11): 3
41         unit#31 [refs: 173#29]
42             value(definition=#11): 2
43         unit#32 [refs: 173#30]
44             value(definition=#11): 0
45         ...
46         unit#118 [refs: 173#117]
47             value(definition=#11): 1
48         unit#119 [refs: 173#118]
49             value(definition=#11): 4
50         unit#120 [refs: 173#119]
51             value(definition=#11): 2
52         unit#121 [refs: 173#120]
53             value(definition=#11): 2
54         unit#122 [refs: 173#121]
55             value(definition=#11): 0
56         unit#123 [refs: 173#122]
57             value(definition=#11): 0
58         unit#124 [refs: 173#123]
59             value(definition=#11): 3
60         unit#125 [refs: 173#124]
61             value(definition=#11): 3
62         unit#126 [refs: 173#125]
63             value(definition=#11): 0
64     context#19 [refs: 173#126]
65     context#20 [refs: 173#129]
66     context#21 [refs: 173#128]

```

L'association d'une ou plusieurs valeur(s) thématique(s) aux UICs se fait relativement à la définition de l'implémentation de la légende. L'interprétation de cette valeur se fait ensuite par

le lien entre la définition de l'implémentation et la définition de la valuation. Dans le cas présent, les UICs porte le numéro de rang de l'entrée (donnée par sa couleur) considérée.

4.3.2 Carte en cercles proportionnels

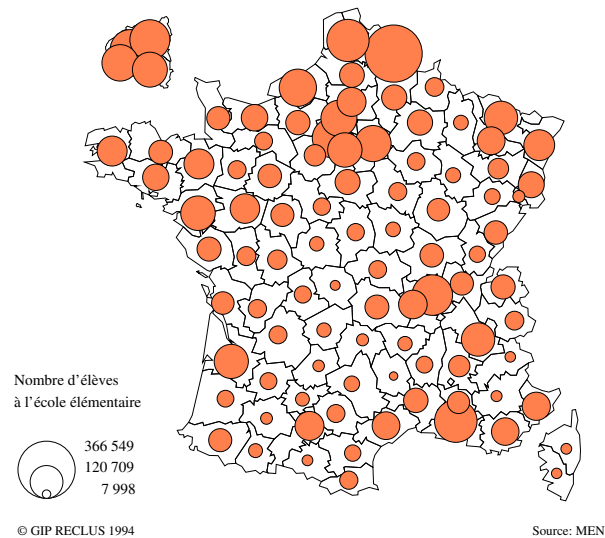


FIGURE 4.4 – Carte en cercles proportionnels

Ce mode de représentation est aussi très courant, bien qu'il présente certaines difficultés de lisibilité. Il est idéal pour représenter une composante numérique.

Sur la carte de la figure 4.4, la légende spécifie une seule valuation de type « effectif », dont le niveau d'organisation est en « valeur ». La définition de cette valuation correspond aux extrema des valeurs de la composante, ainsi qu'une valeur intermédiaire servant de repère pour la lecture.

L'implémentation est en cercles proportionnels, et la définition de cette implémentation est la liste des trois rayons des cercles de la légende, correspondant aux trois valeurs définissant la valuation.

Les unités d'information cartographiques correspondent aux cercles proportionnels orange sur le fond de carte, chacun symbolisant l'association des valeurs thématiques (par la taille) à chaque département. Nous notons que la valeur associée à chacune de ces unités est le rayon du cercle qui constitue cette unité. L'implémentation en cercles proportionnels associe la variation de la variable mesurée à la variation de taille de la forme cercle. C'est donc bien à cette taille qu'est liée l'information.

Dans le cas présent, nous notons en outre que la couleur orange des cercles n'apporte aucune information. Elle ne s'inscrit dans aucune variation de couleur et n'a donc pas de portée

sémiotique.

Pour aider l'identification, un fond de carte est proposé. Nous remarquons que les éléments du fond de carte lui-même, bien que très suggestifs sur les entités géoréférencées dont il s'agit, ne correspondent absolument pas à des unités d'information géographique. Seuls les cercles le sont.

```

1  image(component=50, aspectID=149)
2    circle#0(cx=153,cy=3524,radius=130)
3      bbox: (23,3394) x (283,3654)
4      surface: color=rgb(1.00,1.00,1.00)
5      border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
6  text#2(string=u'366 549')
7    bbox: (342,3350) x (607,3440)
8    surface: color=rgb(0.00,0.00,0.00)
9    font: family=unknown style=unknown size=70
10 circle#3(cx=153,cy=3580,radius=75)
11   bbox: (78,3505) x (228,3655)
12   surface: color=rgb(1.00,1.00,1.00)
13   border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
14 text#5(string=u'120 709')
15   bbox: (342,3463) x (607,3552)
16   surface: color=rgb(0.00,0.00,0.00)
17   font: family=unknown style=unknown size=70
18 circle#6(cx=153,cy=3636,radius=19)
19   bbox: (134,3617) x (172,3655)
20   surface: color=rgb(1.00,1.00,1.00)
21   border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
22 text#8(string=u'7 998')
23   bbox: (412,3594) x (606,3683)
24   surface: color=rgb(0.00,0.00,0.00)
25   font: family=unknown style=unknown size=70
26 polygon#9(n=29, points=[[1951,2720), (1976,2730), (1984,2754)...])
27   bbox: (1951,2572) x (2202,2800)
28   border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
29 polygon#10(n=34, points=[[1663,1903), (1660,1913), (1674,1918)...])
30   bbox: (1642,1671) x (1851,1981)
31   border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
32 polygon#11(n=36, points=[[1518,2600), (1521,2618), (1553,2636)...])
33   bbox: (1516,2504) x (1820,2724)
34   border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
35 polygon#12(n=39, points=[[2101,3195), (2103,3225), (2120,3233)...])
36   bbox: (2100,3035) x (2368,3292)
37   border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
38 polygon#13(n=40, points=[[2087,3108), (2098,3125), (2122,3125)...])
39   bbox: (2083,2920) x (2384,3162)
40   border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
41 ...
42 circle#114(cx=1742,cy=1619,radius=130)
43   bbox: (1612,1489) x (1872,1749)
44   surface: color=rgb(1.00,0.50,0.30)
45   border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
46 circle#116(cx=2027,cy=3301,radius=97)

```



```

47     bbox: (1930,3204) x (2124,3398)
48     surface: color=rgb(1.00,0.50,0.30)
49     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
50     circle#118(cx=1533,cy=1558,radius=96)
51     bbox: (1437,1462) x (1629,1654)
52     surface: color=rgb(1.00,0.50,0.30)
53     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
54     circle#120(cx=1920,cy=2724,radius=92)
55     bbox: (1828,2632) x (2012,2816)
56     surface: color=rgb(1.00,0.50,0.30)
57     border: width=3 color=rgb(0.00,0.00,0.00)
58     ...
59     text#306(string=u'C3K11')
60     bbox: (1387,0) x (1706,109)
61     surface: color=rgb(0.00,0.00,0.00)
62     font: family=unknown style=unknown size=100
63     text#307(string=u'\xa9 GIP RECLUS 1994')
64     bbox: (0,3764) x (576,3846)
65     surface: color=rgb(0.00,0.00,0.00)
66     font: family=unknown style=unknown size=60
67     ...

```

L'aspect graphique n'est pas fondamentalement différent, mais introduit simplement les cercles comme éléments graphiques. Dans l'aspect logique suivant, la valeur thématique associée à chaque UIC correspond au rayon du cercle. Comme indiqué plus haut, la transformation en valeur de l'effectif représenté se fait par l'interprétation de la corrélation entre l'implémentation de la légende et la valuation qui lui est associée.

```

1  map(component=50, aspectID=150)
2  legend#0
3  implementation#6(type=proportional/circle)
4  definition#7(type=circle, valuation=#1)
5  entry#8(radius=19) [refs: 149#6]
6  entry#9(radius=75) [refs: 149#3]
7  entry#10(radius=130) [refs: 149#0]
8  valuation#1(type=numeric/count,
9  organisation=value,
10 implementation=#7) [refs: 149#308]
11 description: "Nombre d'élèves à l'école élémentaire"
12 definition#2(type=value)
13 entry#3(7998) [refs: 149#8]
14 entry#4(120709) [refs: 149#5]
15 entry#5(366549) [refs: 149#2]
16 frame#14 [refs: 149#9 149#10 149#11...]
17 unit#15 [refs: 149#114]
18 value(definition=#7): 130
19 unit#16 [refs: 149#116]
20 value(definition=#7): 97
21 unit#17 [refs: 149#118]
22 value(definition=#7): 96
23 unit#18 [refs: 149#120]

```

```

24         value(definition=#7): 92
25     unit#19 [refs: 149#122]
26         value(definition=#7): 92
27     unit#20 [refs: 149#124]
28         value(definition=#7): 91
29     unit#21 [refs: 149#126]
30         value(definition=#7): 89
31     unit#22 [refs: 149#128]
32         value(definition=#7): 85
33     unit#23 [refs: 149#130]
34         value(definition=#7): 83
35     unit#24 [refs: 149#132]
36         value(definition=#7): 82
37     ...
38     unit#102 [refs: 149#288]
39         value(definition=#7): 27
40     unit#103 [refs: 149#290]
41         value(definition=#7): 26
42     unit#104 [refs: 149#292]
43         value(definition=#7): 25
44     unit#105 [refs: 149#294]
45         value(definition=#7): 24
46     unit#106 [refs: 149#296]
47         value(definition=#7): 24
48     unit#107 [refs: 149#298]
49         value(definition=#7): 24
50     unit#108 [refs: 149#300]
51         value(definition=#7): 23
52     unit#109 [refs: 149#302]
53         value(definition=#7): 22
54     unit#110 [refs: 149#304]
55         value(definition=#7): 19
56     context#11 [refs: 149#309]
57     context#12 [refs: 149#307]
58     context#13 [refs: 149#306]

```

4.3.3 Carte en cercles proportionnels colorés

Dans le cas de la figure 4.5, la légende propose deux valuations, l'une étant un effectif organisé en valeur et l'autre un pourcentage organisé en classes ordonnées. Chacune de ces deux valuations peut être décrite de la même façon que précédemment. L'implémentation est en cercles proportionnels colorés ; elle a deux définition, une pour chacune des valuations indépendantes.

Les unités d'information géographique sont là aussi les cercles. Comme dans le cas précédent, leur taille est associée à la définition représentant l'effectif. En outre, c'est aussi sur ces mêmes éléments graphiques *cercles* que s'inscrivent les couleurs de la valuation en classe. Chaque UIC a donc *deux* valeurs thématiques, une pour chacune des deux définitions de l'implémentation.

Comme dans le cas précédent, le fond de carte est proposé à titre d'aide à la lecture. Il n'entre

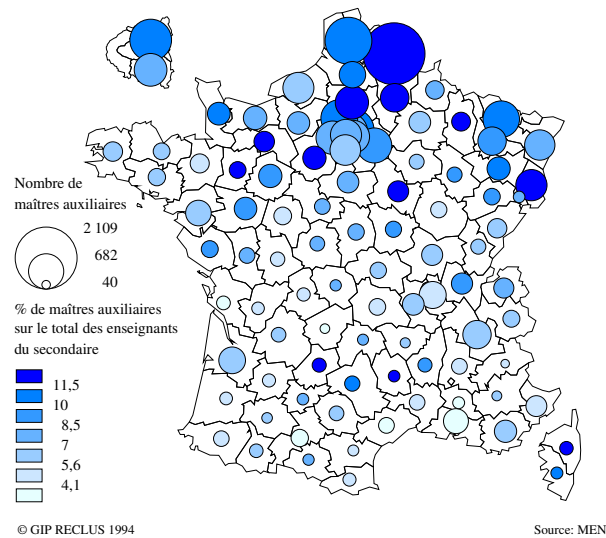


FIGURE 4.5 – Carte en cercles proportionnels colorés

pas en jeu dans la représentation sémiologique de l'information.

```

1  map(component=30, aspectID=90)
2  legend#0
3  implementation#15(type=colored/proportional/circle)
4  definition#16(type=circle, valuation=#1)
5  entry#17(radius=19) [refs: 89#6]
6  entry#18(radius=80) [refs: 89#3]
7  entry#19(radius=141) [refs: 89#0]
8  definition#20(type=color, valuation=#6)
9  entry#21(color=rgb(0.00,0.00,1.00)) [refs: 89#26]
10 entry#22(color=rgb(0.00,0.50,1.00)) [refs: 89#23]
11 entry#23(color=rgb(0.20,0.60,1.00)) [refs: 89#20]
12 entry#24(color=rgb(0.40,0.70,1.00)) [refs: 89#17]
13 entry#25(color=rgb(0.60,0.80,1.00)) [refs: 89#14]
14 entry#26(color=rgb(0.80,0.90,1.00)) [refs: 89#11]
15 entry#27(color=rgb(0.90,1.00,1.00)) [refs: 89#9]
16 valuation#1(type=numeric/count,
17             organisation=value,
18             implementation=#16) [refs: 89#336]
19 description: "Nombre de maîtres auxiliaires"
20 definition#2(type=integer)
21 entry#3(40) [refs: 89#8]
22 entry#4(682) [refs: 89#5]
23 entry#5(2109) [refs: 89#2]
24 valuation#6(type=numeric/percent,
25             organisation=class,
26             implementation=#20) [refs: 89#337]
27 description: "% de maîtres auxiliaires sur le total des enseignants du secondaire"
28 definition#7(type=interval)
29 entry#8(11.5 ->) [refs: 89#28]
30 entry#9(10 -> 11.5) [refs: 89#25 89#28]

```

```

31         entry#10(8.5 -> 10) [refs: 89#22 89#25]
32         entry#11(7 -> 8.5) [refs: 89#19 89#22]
33         entry#12(5.6 -> 7) [refs: 89#16 89#19]
34         entry#13(4.1 -> 5.6) [refs: 89#13 89#16]
35         entry#14(-> 4.1) [refs: 89#13]
36     frame#35 [refs: 89#29 89#30 89#31...]
37         unit#36 [refs: 89#134]
38             value(definition=#16): 141
39             value(definition=#20): 0
40         unit#37 [refs: 89#136]
41             value(definition=#16): 107
42             value(definition=#20): 1
43         unit#38 [refs: 89#138]
44             value(definition=#16): 95
45             value(definition=#20): 1
46         unit#39 [refs: 89#140]
47             value(definition=#16): 95
48             value(definition=#20): 1
49         unit#40 [refs: 89#142]
50             value(definition=#16): 89
51             value(definition=#20): 3
52         unit#41 [refs: 89#144]
53             value(definition=#16): 84
54             value(definition=#20): 1
55         unit#42 [refs: 89#146]
56             value(definition=#16): 83
57             value(definition=#20): 1
58         unit#43 [refs: 89#148]
59             value(definition=#16): 80
60             value(definition=#20): 2
61         unit#44 [refs: 89#150]
62             value(definition=#16): 76
63             value(definition=#20): 3
64         unit#45 [refs: 89#152]
65             value(definition=#16): 76
66             value(definition=#20): 0
67         ...
68         unit#125 [refs: 89#312]
69             value(definition=#16): 25
70             value(definition=#20): 3
71         unit#126 [refs: 89#314]
72             value(definition=#16): 25
73             value(definition=#20): 3
74         unit#127 [refs: 89#316]
75             value(definition=#16): 25
76             value(definition=#20): 3
77         unit#128 [refs: 89#318]
78             value(definition=#16): 25
79             value(definition=#20): 5
80         unit#129 [refs: 89#320]
81             value(definition=#16): 24
82             value(definition=#20): 4
83         unit#130 [refs: 89#322]
84             value(definition=#16): 23

```

```
85         value(definition=#20): 4
86     unit#131 [refs: 89#324]
87         value(definition=#16): 22
88         value(definition=#20): 4
89     unit#132 [refs: 89#326]
90         value(definition=#16): 22
91         value(definition=#20): 6
92     unit#133 [refs: 89#328]
93         value(definition=#16): 19
94         value(definition=#20): 5
95     context#28 [refs: 89#330]
96     context#29 [refs: 89#334]
97     context#30 [refs: 89#338]
98     context#31 [refs: 89#333]
99     context#32 [refs: 89#335]
100    context#33 [refs: 89#332]
101    context#34 [refs: 89#331]
```

Nous présentons ici seulement l'aspect logique, ainsi que dans les exemples suivants. Celui-ci montre bien qu'il n'y a sur la carte qu'une seule légende pour deux valuations. Chacune des UICs porte bien deux valeurs thématiques, pour les deux définitions de l'implémentation de la légende. Ces deux définitions sont chacune associée à deux valuations indépendantes.

4.3.4 Quelques autres cas

Les trois cas présentés précédemment constituent à la fois les cas les plus simples et les plus nombreux du corpus. Nous présentons maintenant quelques cas qui soulèvent des problèmes particuliers et nous montrons comment nous les envisageons dans le modèle proposé.

Cas d'une composante implicite

La figure 4.6 présente une carte en aplats de couleurs. Contrairement à la carte présentée dans la section précédente, la variation de couleur ne porte pas uniquement sur l'intensité, mais aussi sur la teinte elle-même.

Or, selon le modèle sémiologique, la variation d'une composante ne peut être traduite que par la variation d'une seule variable visuelle. En outre, toute sollicitation d'une variable visuelle dans le cadre d'une variation donne à cette variable une portée sémiologique. La légende définit donc de manière implicite une seconde valuation, définie par deux classes correspondant au fait que le pourcentage est positif ou négatif, et représentées respectivement par les teintes rouge et vert.

Les unités d'information portent donc deux valeurs, correspondant à des informations redondantes d'une certaine manière. Néanmoins la distinction est importante puisque visuellement la

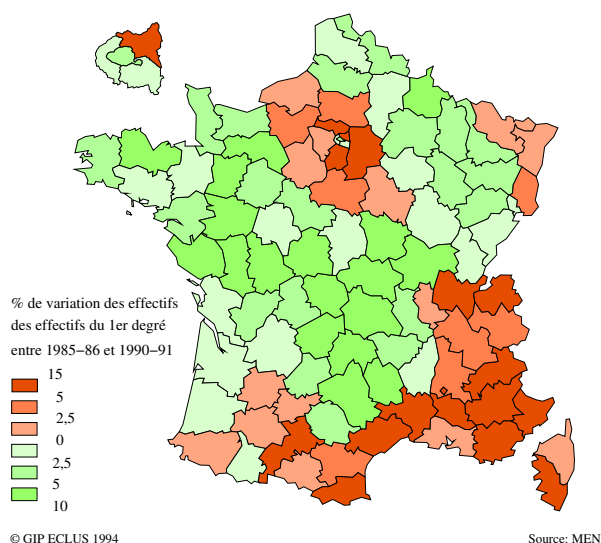


FIGURE 4.6 – Composante supplémentaire implicite

composante implicite que nous avons décrite est en fait la plus prégnante.

```

1  map(component=40, aspectID=120)
2  legend#0
3  implementation#9(type=colored/layer)
4  definition#10(type=color, valuation=#1)
5  entry#11(color=rgb(0.90,0.30,0.00)) [refs: 119#10]
6  entry#12(color=rgb(1.00,0.50,0.30)) [refs: 119#8]
7  entry#13(color=rgb(1.00,0.65,0.50)) [refs: 119#6]
8  entry#14(color=rgb(0.85,1.00,0.80)) [refs: 119#4]
9  entry#15(color=rgb(0.70,1.00,0.60)) [refs: 119#2]
10 entry#16(color=rgb(0.60,1.00,0.40)) [refs: 119#0]
11 valuation#1(type=numeric/percent,
12             organisation=class,
13             implementation=#10) [refs: 119#118 119#128]
14 description: "% de variation des effectifs du 1er degré entre 1985-86 et 1990-91"
15 definition#2(type=interval)
16 entry#3(5 -> 15) [refs: 119#125 119#127]
17 entry#4(2.5 -> 5) [refs: 119#124 119#125]
18 entry#5(0 -> 2.5) [refs: 119#123 119#124]
19 entry#6(-2.5 -> 0) [refs: 119#122 119#123]
20 entry#7(-5 -> -2,5) [refs: 119#120 119#122]
21 entry#8(-10 -> -5) [refs: 119#121 119#120]
22 valuation(type=symbolic, organisation=class, implementation=None)
23 description: ""
24 definition(type=value)
25 entry(>=0)
26 entry(<0)
27 frame#20 [refs: 119#41]
28 unit#21 [refs: 119#12]
29 value(definition=#10): 0
30 unit#22 [refs: 119#13]

```

```
31         value(definition=#10): 3
32     unit#23 [refs: 119#14]
33         value(definition=#10): 5
34     unit#24 [refs: 119#15]
35         value(definition=#10): 0
36     unit#25 [refs: 119#16]
37         value(definition=#10): 0
38     unit#26 [refs: 119#17]
39         value(definition=#10): 0
40     unit#27 [refs: 119#18]
41         value(definition=#10): 3
42     unit#28 [refs: 119#19]
43         value(definition=#10): 5
44     unit#29 [refs: 119#20]
45         value(definition=#10): 2
46     unit#30 [refs: 119#21]
47         value(definition=#10): 3
48     ...
49     unit#116 [refs: 119#108]
50         value(definition=#10): 3
51     unit#117 [refs: 119#109]
52         value(definition=#10): 0
53     unit#118 [refs: 119#110]
54         value(definition=#10): 3
55     unit#119 [refs: 119#111]
56         value(definition=#10): 3
57     unit#120 [refs: 119#112]
58         value(definition=#10): 0
59     unit#121 [refs: 119#113]
60         value(definition=#10): 0
61     unit#122 [refs: 119#114]
62         value(definition=#10): 3
63     unit#123 [refs: 119#115]
64         value(definition=#10): 3
65     unit#124 [refs: 119#116]
66         value(definition=#10): 0
67     context#17 [refs: 119#126]
68     context#18 [refs: 119#117]
69     context#19 [refs: 119#119]
```

Cas d'une typologie

Dans l'exemple présenté sur la figure 4.7, la composante thématique associée aux entités géographiques est d'ordre symbolique. Chacun des éléments de cette composante correspond à une classe construite par l'auteur. Ce niveau d'organisation peut être déduit de la carte puisque la représentation de cette composante mobilise la variable couleur, qui n'est pas ordonnée. Nous savons donc que nous avons à faire à une composante dont le niveau d'organisation est qualitatif et non-ordonné.

Les systèmes régionaux de scolarisation

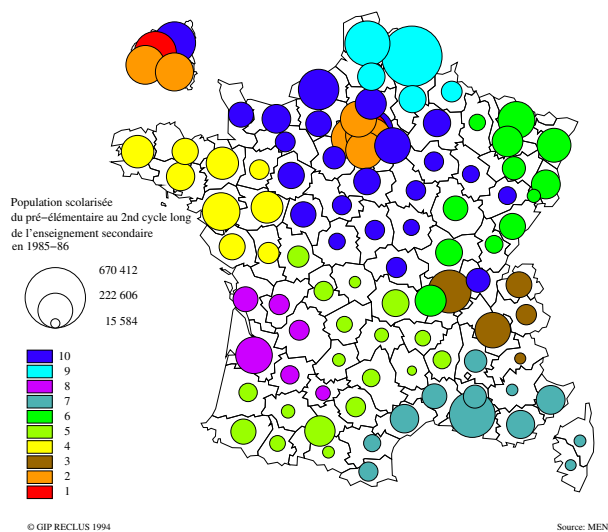


FIGURE 4.7 – Carte présentant une typologie

```

1 map(component=194, aspectID=582)
2   legend#0
3     implementation#18(type=colored/proportional/circle)
4       definition#19(type=circle, valuation=#1)
5         entry#20(radius=34) [refs: 581#6]
6         entry#21(radius=130) [refs: 581#3]
7         entry#22(radius=227) [refs: 581#0]
8       definition#23(type=color, valuation=#6)
9         entry#24(color=rgb(0.20,0.00,1.00)) [refs: 581#36]
10        entry#25(color=rgb(0.00,1.00,1.00)) [refs: 581#33]
11        entry#26(color=rgb(0.80,0.00,1.00)) [refs: 581#30]
12        entry#27(color=rgb(0.30,0.70,0.70)) [refs: 581#27]
13        entry#28(color=rgb(0.00,1.00,0.00)) [refs: 581#24]
14        entry#29(color=rgb(0.60,1.00,0.00)) [refs: 581#21]
15        entry#30(color=rgb(1.00,1.00,0.00)) [refs: 581#18]
16        entry#31(color=rgb(0.60,0.40,0.00)) [refs: 581#15]
17        entry#32(color=rgb(1.00,0.60,0.00)) [refs: 581#12]
18        entry#33(color=rgb(1.00,0.00,0.00)) [refs: 581#9]
19     valuation#1(type=numeric/count,
20       organisation=value,
21       implementation=#19)
22     description: ''
23     definition#2(type=integer)
24       entry#3(15584) [refs: 581#8]
25       entry#4(222606) [refs: 581#5]
26       entry#5(670412) [refs: 581#2]
27     valuation#6(type=symbolic,
28       organisation=class,
29       implementation=#23)

```



```
30     description: ''
31     definition#7(type=value)
32         entry#8(10) [refs: 581#38]
33         entry#9(9) [refs: 581#35]
34         entry#10(8) [refs: 581#32]
35         entry#11(7) [refs: 581#29]
36         entry#12(6) [refs: 581#26]
37         entry#13(5) [refs: 581#23]
38         entry#14(4) [refs: 581#20]
39         entry#15(3) [refs: 581#17]
40         entry#16(2) [refs: 581#14]
41         entry#17(1) [refs: 581#11]
42 frame#40 [refs: 581#39 581#40 581#41...]
43     unit#41 [refs: 581#144]
44         value(definition=#19): 227
45         value(definition=#23): 1
46     unit#42 [refs: 581#146]
47         value(definition=#19): 171
48         value(definition=#23): 3
49     unit#43 [refs: 581#148]
50         value(definition=#19): 169
51         value(definition=#23): 1
52     unit#44 [refs: 581#150]
53         value(definition=#19): 161
54         value(definition=#23): 7
55     unit#45 [refs: 581#152]
56         value(definition=#19): 158
57         value(definition=#23): 0
58     unit#46 [refs: 581#154]
59         value(definition=#19): 158
60         value(definition=#23): 0
61     unit#47 [refs: 581#156]
62         value(definition=#19): 157
63         value(definition=#23): 4
64     unit#48 [refs: 581#158]
65         value(definition=#19): 157
66         value(definition=#23): 4
67     unit#49 [refs: 581#160]
68         value(definition=#19): 155
69         value(definition=#23): 5
70     unit#50 [refs: 581#162]
71         value(definition=#19): 151
72         value(definition=#23): 0
73     ...
74     unit#132 [refs: 581#326]
75         value(definition=#19): 49
76         value(definition=#23): 4
77     unit#133 [refs: 581#328]
78         value(definition=#19): 47
79         value(definition=#23): 5
80     unit#134 [refs: 581#330]
81         value(definition=#19): 44
82         value(definition=#23): 5
83     unit#135 [refs: 581#332]
```

```

84         value(definition=#19): 44
85         value(definition=#23): 3
86     unit#136 [refs: 581#334]
87         value(definition=#19): 43
88         value(definition=#23): 3
89     unit#137 [refs: 581#336]
90         value(definition=#19): 43
91         value(definition=#23): 5
92     unit#138 [refs: 581#338]
93         value(definition=#19): 41
94         value(definition=#23): 7
95     unit#139 [refs: 581#340]
96         value(definition=#19): 41
97         value(definition=#23): 3
98     unit#140 [refs: 581#342]
99         value(definition=#19): 34
100        value(definition=#23): 5
101     context#34 [refs: 581#344]
102     context#35 [refs: 581#347]
103     context#36 [refs: 581#348]
104     context#37 [refs: 581#345]
105     context#38 [refs: 581#349]
106     context#39 [refs: 581#346]

```

Cas de deux légendes

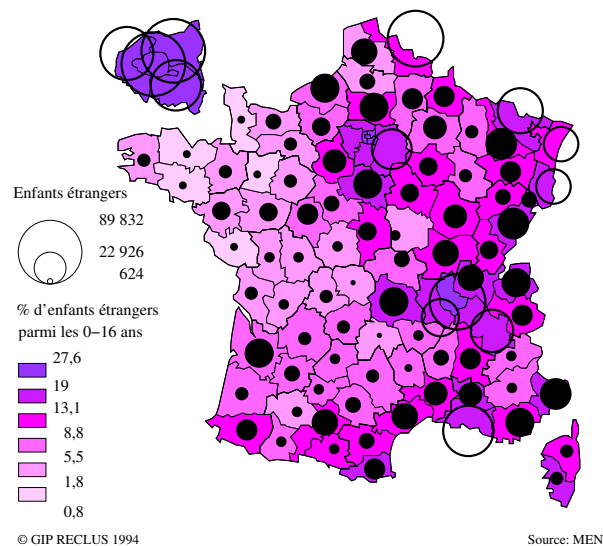


FIGURE 4.8 – Carte présentant deux légendes indépendantes

Dans le cas des cercles proportionnels (figure 4.8), la *tache* signifiant l'entité géographique est en implantation ponctuelle, tandis qu'elle est en implantation zonale en ce qui concerne les aplats colorés. Dans l'aspect graphique, ces deux taches correspondent à deux éléments graphiques

distincts. Nous considérons donc que les deux composantes thématiques dont il est question sont exprimées en représentant deux fois la composante géographique . Par conséquent le modèle implique de déduire que cette carte contient deux légendes distinctes, chacune donnant lieu à sa série d'UIC, représentée sur le même fond de carte.

Dans la sortie suivante, nous observons bien que les UICs ne portent qu'une seule valeur thématique, associée à l'unique implémentation d'une des deux légendes. Elles sont en fait complètement indépendantes d'un point de vue sémiologique, même si elles sont sémantiquement liées, puisqu'il s'agit implicitement des mêmes départements.

```
1  map(component=17, aspectID=51)
2    legend#0
3      implementation#6(type=proportional/circle)
4        definition#7(type=circle, valuation=#1)
5          entry#8(radius=9) [refs: 50#220]
6          entry#9(radius=58) [refs: 50#219]
7          entry#10(radius=116) [refs: 50#218]
8        valuation#1(type=numeric/count,
9          organisation=value,
10         implementation=#7) [refs: 50#242]
11       description: "Enfants étrangers"
12       definition#2(type=integer)
13         entry#3(624) [refs: 50#221]
14         entry#4(22926) [refs: 50#217]
15         entry#5(89832) [refs: 50#216]
16     legend#11
17       implementation#20(type=colored/layer)
18         definition#21(type=color, valuation=#12)
19           entry#22(color=rgb(0.60,0.20,1.00)) [refs: 50#238]
20           entry#23(color=rgb(0.80,0.10,1.00)) [refs: 50#235]
21           entry#24(color=rgb(1.00,0.00,1.00)) [refs: 50#232]
22           entry#25(color=rgb(1.00,0.40,1.00)) [refs: 50#229]
23           entry#26(color=rgb(1.00,0.60,1.00)) [refs: 50#226]
24           entry#27(color=rgb(1.00,0.80,1.00)) [refs: 50#222]
25         valuation#12(type=numeric/percent,
26           organisation=class,
27           implementation=#21) [refs: 50#241]
28       description: "% d'enfants étrangers parmi les 0-16 ans"
29       definition#13(type=inerval)
30         entry#14(19 -> 27.6) [refs: 50#237 50#240]
31         entry#15(13.1 -> 19) [refs: 50#234 50#237]
32         entry#16(8.8 -> 13.1) [refs: 50#231 50#234]
33         entry#17(5.5 -> 8.8) [refs: 50#228 50#231]
34         entry#18(1.8 -> 5.5) [refs: 50#224 50#228]
35         entry#19(0.8 -> 1.8) [refs: 50#225 50#224]
36     frame#31 [refs: 50#100 50#101 50#102...]
37       unit#32 [refs: 50#136]
38         value(definition=#7): 58
39       unit#33 [refs: 50#137]
40         value(definition=#7): 58
41       unit#34 [refs: 50#138]
```

```

42         value(definition=#7): 58
43     unit#35 [refs: 50#139]
44         value(definition=#7): 53
45     unit#36 [refs: 50#140]
46         value(definition=#7): 53
47     unit#37 [refs: 50#141]
48         value(definition=#7): 53
49     unit#38 [refs: 50#142]
50         value(definition=#7): 53
51     unit#39 [refs: 50#143]
52         value(definition=#7): 53
53     unit#40 [refs: 50#144]
54         value(definition=#7): 53
55     unit#41 [refs: 50#145]
56         value(definition=#7): 53
57     ...
58     unit#216 [refs: 50#91]
59         value(definition=#21): 0
60     unit#217 [refs: 50#92]
61         value(definition=#21): 0
62     unit#218 [refs: 50#93]
63         value(definition=#21): 0
64     unit#219 [refs: 50#94]
65         value(definition=#21): 0
66     unit#220 [refs: 50#95]
67         value(definition=#21): 0
68     unit#221 [refs: 50#96]
69         value(definition=#21): 0
70     unit#222 [refs: 50#97]
71         value(definition=#21): 1
72     unit#223 [refs: 50#98]
73         value(definition=#21): 1
74     unit#224 [refs: 50#99]
75         value(definition=#21): 2
76     context#28 [refs: 50#245]
77     context#29 [refs: 50#243]
78     context#30 [refs: 50#244]

```

Cas des cartes de flux

Le dernier exemple présenté ici est celui d'une carte de flux (figure 4.9). Ce type de carte n'est pas pris en compte dans l'implémentation courante. Nous notons néanmoins que la composante thématique associée au flux a un niveau d'organisation qualitatif, représenté par une variation de taille des flèches. Ces flèches doivent être prises en compte dans le modèle graphique comme une primitive pertinente. Quant à la composante géographique, il convient de considérer que chaque flèche correspond à une unité d'information, dont l'*implantation*, la signification sémiotique, est linéaire. Celle-ci signifie une entité géoréférencée qui n'est plus une entité simple, ou directe, comme définie dans le chapitre précédent sur le texte, mais une entités complexe, traduisant une dynamique entre deux espaces.

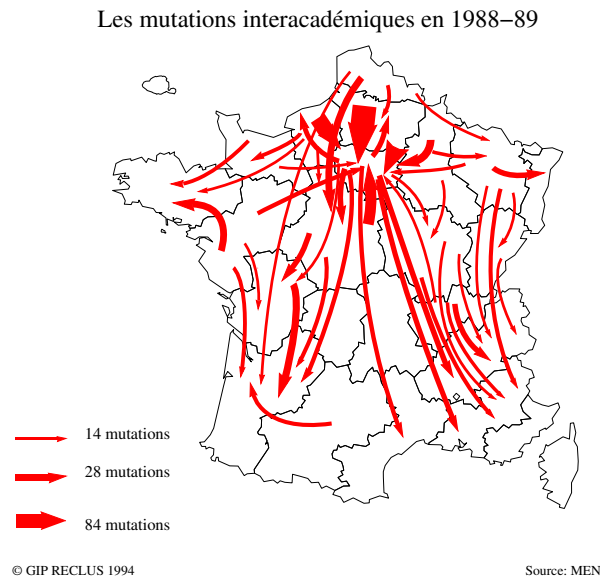


FIGURE 4.9 – Carte de flux

4.4 Entités géographiques et notion d'ancre

Nous revenons plus en détail sur la relation entre l'entité géographique, l'UIC, la légende, et leur fonctionnement sémiotique. Il s'agit ici de montrer l'articulation entre le formalisme informatique proposé et les principes cognitifs qui vont nous permettre de mettre en place des traitements pertinents. Nous tenterons d'établir une analogie avec ce que l'on peut observer dans la modalité textuelle.

Dans le modèle proposé, une unité d'information cartographique est portée par un élément graphique, une primitive de l'aspect logique. Cet élément est la représentation de l'association des valeurs issues de chacune des composantes de l'observation. Sur la figure 4.10, la légende définit une composante « Taux de chômage » dont le niveau d'organisation est ordonné, et de longueur quatre. Elle décrit quatre classes correspondant chacune à un intervalle de valeurs.

La représentation choisie pour représenter ces classes est l'aplatissement coloré. Ceci est cohérent car la variable visuelle mobilisée est la valeur (ou la saturation), définissant un dégradé qui permet bien d'identifier chacune des classes tout en gardant l'idée d'un ordre. L'autre composante étant géographique, elle mobilise les deux dimensions du plan pour s'exprimer. La *tache signifiante* est donc un polygone dont l'implantation est zonale, qui par sa forme et sa position désigne une entité spécifique, et dont la surface sert de support à la couleur qui désigne, par construction de la légende, la valeur thématique (ici, la classe) associée à cette entité.

Dans l'exemple de la figure 4.11, la composante thématique est un effectif, donc un niveau

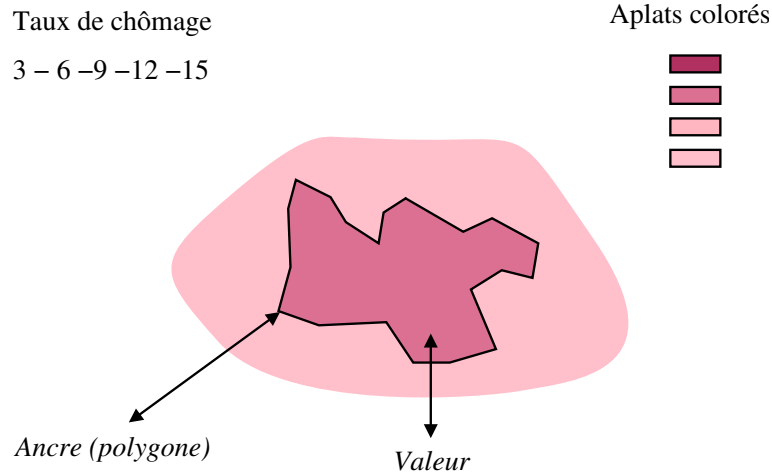


FIGURE 4.10 – Principe de construction d'un aplat

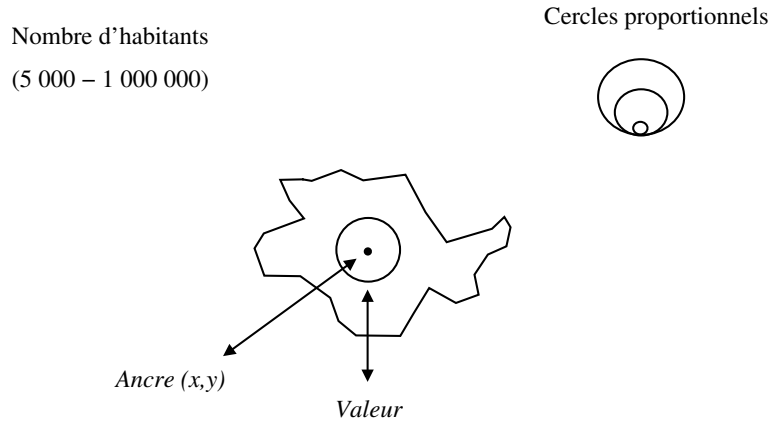


FIGURE 4.11 – Principe de construction d'un cercle proportionnel

d'organisation quantitatif. Le mode de représentation choisi, en cercles proportionnels, définit la relation entre les valeurs thématiques et la taille des cercles. Celui-ci impose que les taches significantes, correspondant aux UIC, soient des cercles (ce qui fixe la forme) et dont la taille correspond à la valeur thématique. La composante géographique doit nécessairement s'inscrire dans le plan (le mode d'imposition l'impose : c'est une carte), donc la valeur perceptive qui permet de distinguer deux entités, est la position, donc les coordonnées du cercle. Notons que dans ce cas le polygone représenté fait partie du fond de carte, pouvant aider à l'interprétation, mais n'a aucun lien direct, du point de vue sémiotique avec l'unité d'information elle-même qui reste le cercle, dont la signification, l'*implantation* est ponctuelle par essence.

Dans les deux cas, on observe que la composante thématique est associée à une et une seule variable visuelle : dans le premier cas, la valeur, dans le second cas, la taille. La composante géographique, elle, est associée à la variable position pour les cercles, et position ou forme (c'est

ici discutable) pour les aplats. Les autres variables visuelles ne sont pas sollicitées, elle sont en fait invariantes : la forme des cercles reste la même, ainsi que la teinte, le grain, etc. Dans le cas particulier des aplats, nous notons que même si la taille varie d'un département à l'autre, on peut considérer qu'elle reste la même du fait que, quelque soit la simplification choisie, l'échelle à laquelle sont représentés les départements est constante, à l'exception notable du cartouche qui grossit l'Île de France, et qui implique une connaissance particulière pour l'interprétation. Par contre, si l'on prend le cas d'une carte en anamorphose, la variable taille est bien porteuse d'une valeur thématique, déformant donc la réalité géographique. De fait la forme devient moins pertinente et c'est plutôt sur la position (en fait les positions relatives) que repose l'identification.

Dans tous les cas c'est la valeur visuelle associée à la composante géographique de l'UIC que nous appelons *ancree*, car c'est sur elle que repose le lien entre l'entité géoréférencée dont il est question, et sa représentation, ou son évocation graphique. De par son existence, cette ancre suggère un lien vers une entité conceptuelle, que nous pouvons rattacher à une entité connue, lors de la lecture de la carte. Dans les exemples précédents, les unités correspondent à un département français, que l'on peut reconnaître ou non. L'entité ainsi suggérée n'a pas, bien entendu, une existence unique ou complètement non-ambiguë, mais c'est l'ancre, et elle seule, qui va nous permettre d'en donner une interprétation le cas échéant.

Si l'on fait l'analogie avec le texte, on peut rapprocher cette ancre des syntagmes, ou des expressions au sens plus large qui correspondent à des entités géographiques. Par exemple, le syntagme *Paris*, est l'évocation textuelle d'une certaine entité géographique, de même qu'une expression comme *le littoral Atlantique*. Dans le cas du texte aussi, l'interprétation de ces entités ne peut se faire que dans un contexte donné, et grâce à des connaissances a priori. De notre point de vue, ces expressions correspondent à des ancres comme pour la carte, qui renvoie à *quelque-chose* de géographique. La principale différence est que la modalité cartographique permet de retrouver, d'énumérer, ces ancres de manière systématique, de par son fonctionnement sémiotique. Par contre, dans le cas du texte, la détermination de ces expressions relève de processus d'interprétation plus ou moins complexes.

Dans le principe, l'ancre est donc un élément structurel d'une composante du document (au sens des modalités du premier chapitre) qui fait référence à un concept particulier, ici une entité géographique. La figure 4.12 schématise ce principe d'ancre dans les deux cas.

Nous observons que l'ancre en elle-même n'est pas porteuse d'une information. Ce qui importe, c'est son association à une (ou plusieurs) valeur(s) thématique(s). Dans le cas de la carte, cette valeur thématique correspond à la (ou les) autres composantes représentées. L'information réside aussi dans la capacité qu'offre la carte à comparer les valeurs thématiques de l'ensemble des entités géographiques évoquées. De la même manière, l'information dans le texte ne réside pas simplement dans l'évocation des entités géographiques, mais dans une valeur qualitative ou quantitative qui leur sont associées. Par exemple : « Le prix du mètre carré à Paris est de 5000

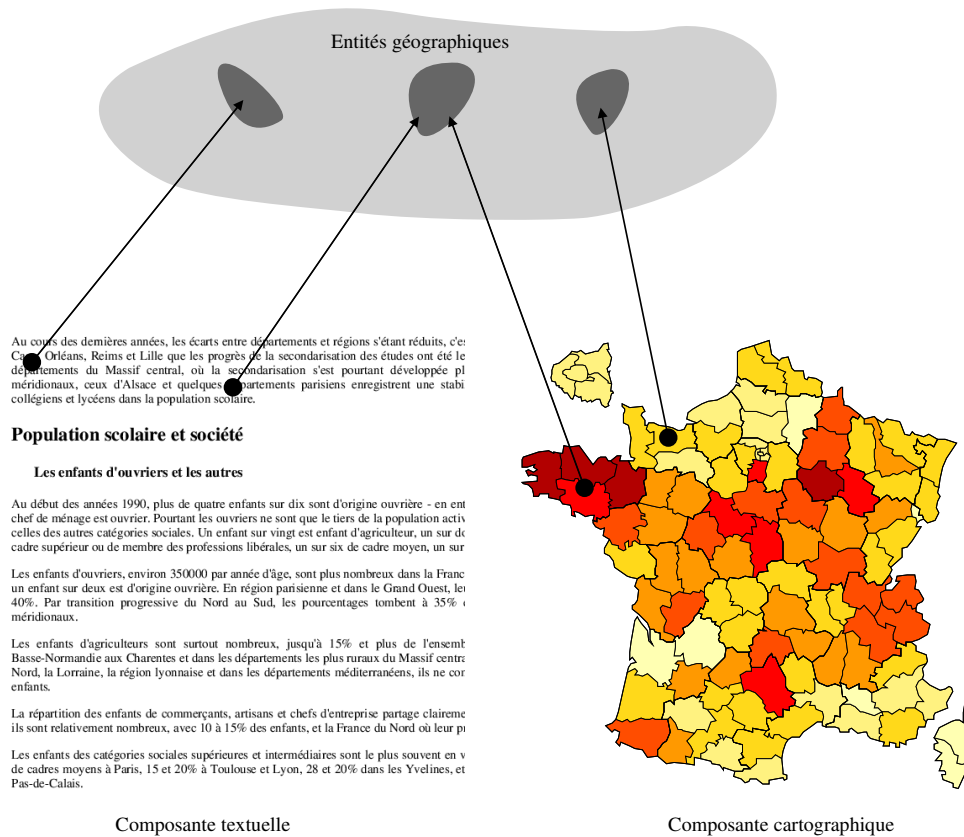


FIGURE 4.12 – Modèle d'ancre unifié

Les ancres identifiées dans les différentes composantes font référence à des entités géographiques dans un contexte d'interprétation.

euros. » associe une valeur quantitative à l'entité *Paris*. Dans une construction plus complexe comme « Le prix du mètre carré à Paris est moins élevé qu'à Londres. », la valeur associée à chaque entité est relative à l'autre.

Le modèle sémiotique proposé permet donc de décrire formellement dans la carte ce que sont les entités géographiques et quelles sont les propriétés du système graphique qui les qualifient ou quantifient. Ces valeurs peuvent être exploitées tant du point de vue perceptuel, puisqu'elle sont associées à des variables visuelles, que thématique, dès lors que la légende permet de leur donner une valeur symbolique ou numérique thématique. De notre point de vue, l'information dans le texte procède du même principe de croisement de valeur, si ce n'est que les éléments intervenant dans ces croisements ne sont pas nécessairement exprimés de manière explicite.

4.5 Extension à d'autres modalités

Le principe de l'information et de sa représentation est indépendant du domaine thématique et du mode de représentation. Les concepts évoqués ci-dessus ne se limitent pas à la carte, mais se retrouvent aussi dans d'autres modalités graphiques. Prenons l'exemple d'une pyramide des âges comme celle présentée à la figure 4.13.

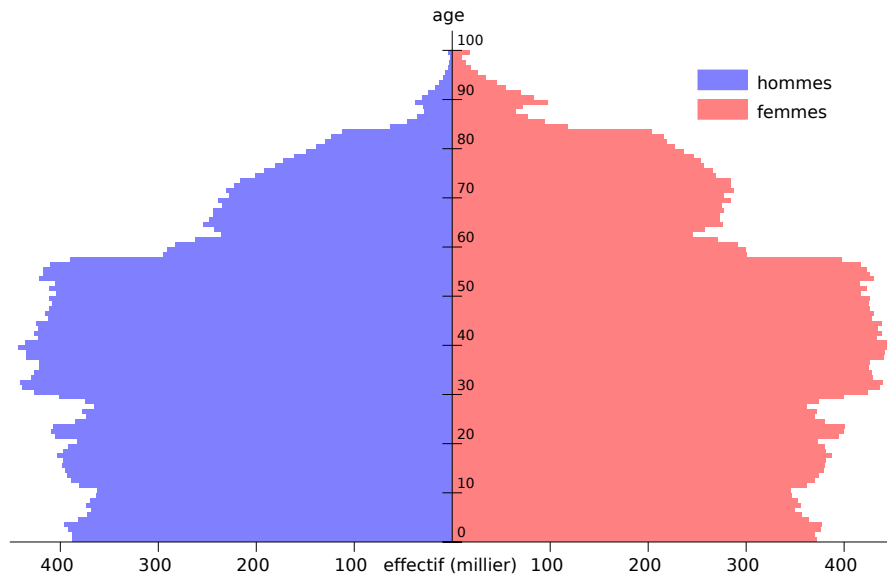


FIGURE 4.13 – Pyramide des âges

Les trois composantes impliquées sont le sexe, l'âge, le nombre d'individus. Par construction, cet effectif est porté par une variation de taille en implantation linéaire de la forme constante rectangle. La classe d'âge est portée par une variation de position sur l'axe des ordonnées. Quand au sexe, il est traduit par une différence d'orientation. Nous notons que la variation de couleur est redondante.

Il est donc possible de décrire cette modalité comme pour la carte. Dans ce cas, il n'y a pas de légende à proprement parler, les composantes étant fixées par principe. Un aspect logique pour cette modalité pourrait être modélisé comme suit :

```

1  pyramide()
2    legend
3    implementation(type=pyramide)
4    definition#4(type=color, valuation=#1)
5    entry(color=red)
6    entry(color=blue)
7    definition#5(type=position, valuation=#2)
8    entry(y=0)
9    entry(y=178)

```

```

10         definition#6(type=length, valuation=#43)
11             entry(length=1)
12     valuation(type=symbolic,
13             organisation=class,
14             implementation=#4)
15     description: "Sexe"
16     definition#2(type=symbol)
17         entry(value="H")
18         entry(value="F")
19     valuation(type=numeric/value,
20             organisation=class,
21             implementation=#5)
22     description: "Age"
23     definition#2(type=numeric)
24         entry(value=100)
25         entry(value=0)
26     valuation(type=numeric/count,
27             organisation=value,
28             implementation=#5)
29     description: "Effectif"
30     definition#2(type=numeric)
31         entry(value=879)
32     ...
33     unit#* [refs: (rectangle)]
34         value(definition=#4): 1
35         value(definition=#5): 67
36         value(definition=#6): 234
37     unit#* [refs: (rectangle)]
38         value(definition=#4): 0
39         value(definition=#5): 34
40         value(definition=#6): 467

```

Au niveau sémantique, l'analyse de cette modalité permet de faire ressortir certains faits. Apparaissent classiquement des irrégularités liées par exemple aux guerres. Si la notion d'ancrage géographique n'est pas définie dans ce cas, les rectangles eux-mêmes évoquent des générations, et vont constituer des ancres dans le cadre de liens sémantiques vers de tels phénomènes.

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un modèle de contenu pour l'information considérée dans les cartes géographiques thématiques. Faisant abstraction de la forme informatique liée au média lui-même, et étant basée sur un modèle générique de l'information et de sa représentation graphique, cette modélisation correspond bien à la description d'un *mode d'expression* tel que nous l'avons défini dans le premier chapitre. Cette description permet de préciser formellement quels sont les concepts liés à l'information géographique, en particulier la notion d'entité géoréférencée, qui interviennent dans la carte et sous quelle forme. Cette formalisation traduit en outre la manière dont les relations entre ces concepts sont exprimées graphiquement. L'ensemble des

unités dégagées possède une valeur sémantique dans le modèle de l'information géographique. Elles sont aussi porteuses de valeurs symboliques ou numériques, issues de la représentation graphique, qui permettent d'associer à ces unités géographiques des valeurs thématiques qualitatives ou quantitatives, et donc de les qualifier et de les comparer.

Le modèle proposé est vraisemblablement amené à évoluer afin de prendre en compte un plus large panel de cartes, par exemple les cartes de flux. Il serait de même intéressant d'étendre l'aspect logique à des modes de représentation plus variés tels que les graphiques, histogrammes, etc. D'une manière générale, le modèle doit évoluer à mesure que l'usage met à jour des incohérences ou des insuffisances dans le cadre de certaines tâches. Il est néanmoins suffisamment générique pour traduire le grand nombre de cartes qui constituent notre corpus, et il permet de proposer, comme nous allons le voir dans le chapitre suivant, un certain nombre de traitements d'ordre sémantique, encore exploratoires mais ouvrant des perspectives dans le cadre d'utilisations pratiques.

Un point intéressant de l'approche en « aspect » est qu'elle permet d'affiner la représentation structurelle de la carte sans remettre complètement en question les aspects déjà proposés. À titre d'exemple, il nous semblerait peut-être pertinent de définir un aspect « sémiologique » s'ajoutant aux autres, lequel décrirait de manière générique (indépendamment de l'implantation) les relations entre les composantes et leur représentation, leur niveau d'organisation. Nous ne nous avançons pas à proposer ici une formalisation d'un tel aspect, mais celui-ci permettrait de définir une base plus générique pour la mise en place de différents calculs sur les composantes.

Chapitre 5

Mise en place d'une tâche de lecture de cartes

5.1 Motivation

Nous avons présenté dans le chapitre précédent une modélisation de la structure des cartes géographiques, visant à servir de base pour exploitation de leur contenu sémantique. Nous avons vu dans le second chapitre que cette idée de sémantique du document n'a de sens que dans le cadre d'une tâche de lecture de ce document.

Notre démarche a donc été de définir, en collaboration avec un géographe du laboratoire, une tâche relativement simple de lecture portant sur la carte à soumettre à des sujets, afin d'en donner une caractérisation, une interprétation. Cette tâche définit donc une sémantique géographique, dans la mesure où elle offre une grille de lecture portant sur des concepts *a priori* pertinents en géographie. Elle exprime une *information géographique* au sens du premier chapitre.

Notre objectif sera ensuite de retrouver automatiquement, en se basant sur la modélisation proposée, les interprétations données par des lecteurs experts.

5.1.1 Choix des questions

L'observation d'un corpus de textes issus d'un atlas géographique permet de dégager un certain nombre d'axes qui semblent être essentiels au discours géographique. Parmi ces axes ressort la notion d'orientation, utilisée lorsque l'auteur organise le phénomène par rapport aux directions cardinales. La notion de contraste est aussi très présente puisque l'auteur base ses observations sur des données quantifiées. Dans la description du phénomène l'auteur utilise aussi des énumérations pour regrouper et opposer des entités géoréférencées, sur lesquelles s'expriment

les contrastes ou les oppositions observées.

Voici quelques extraits de corpus qui reflètent la manière dont ces différentes notions apparaissent dans les textes :

Mais s'exprime surtout l'opposition entre une France méridionale (départements méditerranéens exceptés) où l'on poursuit plus volontiers les études et une France du Nord (sauf Paris et la Bretagne) où les jeunes quittent plus précocement le collège ou le lycée.

Cette redistribution spatiale des jeunes enseignants alimente une forte migration sud-nord en début de carrière, nord-sud en cours de carrière.

Le rapport entre les effectifs de bacheliers de chacun des deux groupes révèle des contrastes : d'une part dans le Nord, l'Est, la Bretagne et les départements qui, des Pyrénées-Atlantiques à l'Isère, dessinent un ensemble quasi continu, il y a presque autant, sinon plus, de bacheliers scientifiques que de bacheliers littéraires ; d'autre part dans tout l'Ouest (Bretagne mise à part) jusqu'à Bordeaux, ainsi que le Centre, la région lyonnaise et la Provence, les baccalauréats d'enseignement général sont à forte dominante littéraire, de langues étrangères ou de sciences économiques et sociales.

[...] structurent de façon durable le territoire national en systèmes éducatifs régionaux plus ou moins homogènes

Les questions retenues sont donc basées sur ces différents points, le but étant d'observer comment ces notions pertinentes dans le discours géographique se retrouvent dans la carte. Quatre questions ont ainsi été proposées, constituant notre tâche de lecture :

- Le phénomène apparaît-il épars ou polarisé ?
- Le phénomène présente-t-il une orientation nord / sud, est / ouest, nord-ouest / sud-est, nord-est / sud-ouest ou pas d'orientation particulière ?
- Le phénomène présente-t-il un contraste très marqué, marqué, peu marqué, ou très peu marqué ?
- Autour de combien de zones le phénomène est-il structuré ?

5.1.2 Choix des cartes

Une série de soixante cartes a été sélectionnée parmi les deux cents cartes de notre corpus. Le choix s'est opéré avec les objectifs suivants. L'ensemble devait être représentatif des différents modes de représentation cartographique (aplat de couleur, cercles proportionnels) et des différents types de légende tels que nous les avons présentés dans le chapitre précédent. En outre, le niveau de difficulté de lecture par rapport à la tâche envisagée devait varier. Finalement les

cartes en elles-même devaient être suffisamment bien construites, notamment au niveau du choix des couleurs et de la lisibilité globale. L'ensemble des soixante cartes présentées est donné en annexe A.

Nous précisons le protocole mis en place pour la manipulation. Nous détaillons ensuite l'ensemble des résultats obtenus, à la suite de quoi nous discuterons ces résultats ainsi que les problèmes liés au protocole et à sa mise en œuvre.

5.2 Protocole utilisé

5.2.1 Déroulement

Les treize sujets ont été convoqués tour à tour, et installés devant un poste de travail. Des cartes leur ont été présentées une à une, en même temps qu'un formulaire électronique à choix multiple. La consigne était d'observer chacune des cartes à mesure qu'elles étaient présentées, et de remplir et valider le formulaire pour pouvoir passer à la carte suivante.

L'ensemble des réponses, ainsi que le temps passé par chaque sujet sur chacune des cartes ont été enregistrés.

5.2.2 Formulaire

Avant de pouvoir passer à la carte suivante, le sujet devait répondre à l'ensemble des questions du formulaire. Il était donné la possibilité de répondre « (non pertinent) » à chaque question dans le cas où celle-ci semblait ne pas pouvoir s'appliquer à la carte présentée. Les sujets pouvaient en outre ajouter un commentaire sur la carte en elle-même.

La figure 5.1 présente une capture d'écran de l'interface telle qu'elle était présentée aux sujets.

5.3 Résultats

5.3.1 Temps de réponses

La figure 5.2 représente les temps de réponse en seconde globalement observés pour chacune des cartes dans l'ordre dans lequel elles ont été proposées. Les trois courbes du graphique de gauche représentent le temps maximum mis par l'un des sujets, le temps moyen et le temps minimum. Le graphique de droite représente les mêmes mesures en ignorant pour chaque carte le temps minimum et le temps maximum. On observe en effet quelques artefacts dans la mesure

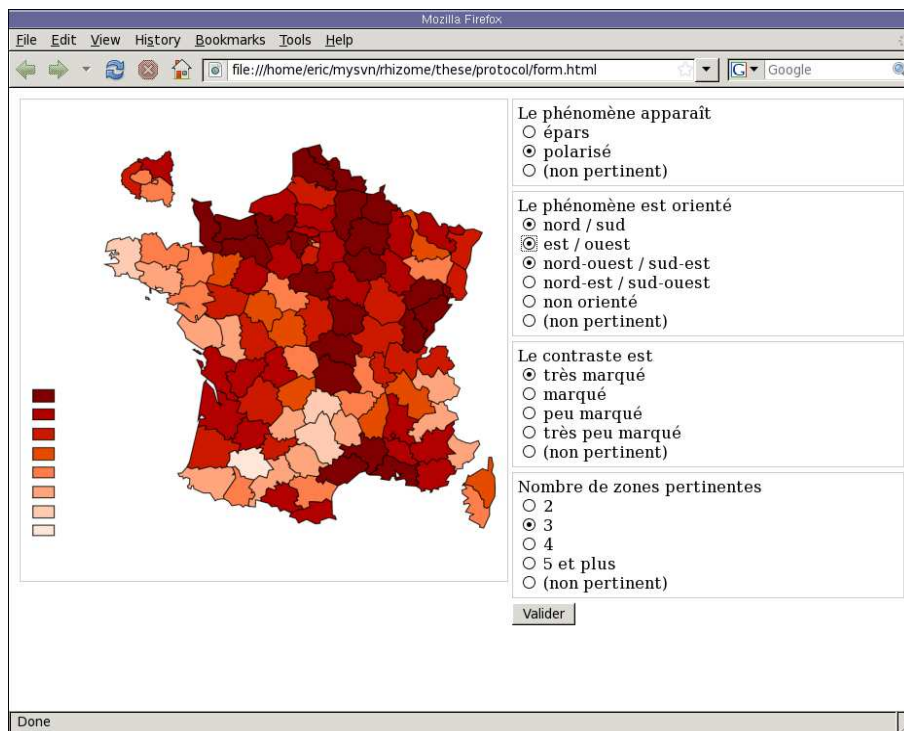


FIGURE 5.1 – Interface du questionnaire

du temps. Quelques valeurs sont anormalement basses, probablement à cause d'un problème au cours de la collecte. D'autres sont au contraire trop hautes, ce qui pourrait être expliqué par des interruptions, des moments de déconcentration du sujet au cours de la manipulation. Celle-ci dure en effet un vingtaine de minutes par sujet.

5.3.2 Répartition

La question posée est la suivante :

<p>Le phénomène apparaît :</p> <ol style="list-style-type: none">1. épars2. polarisé3. (non pertinent)
--

La figure 5.3 donne une représentation synthétique des réponses obtenus à cette question pour l'ensemble des soixantes cartes de notre corpus.

Le graphe en partie gauche représente l'histogramme trié pour l'ensemble des cartes du pourcentage correspondant à la réponse la plus souvent obtenue à la question concernant la répartition.

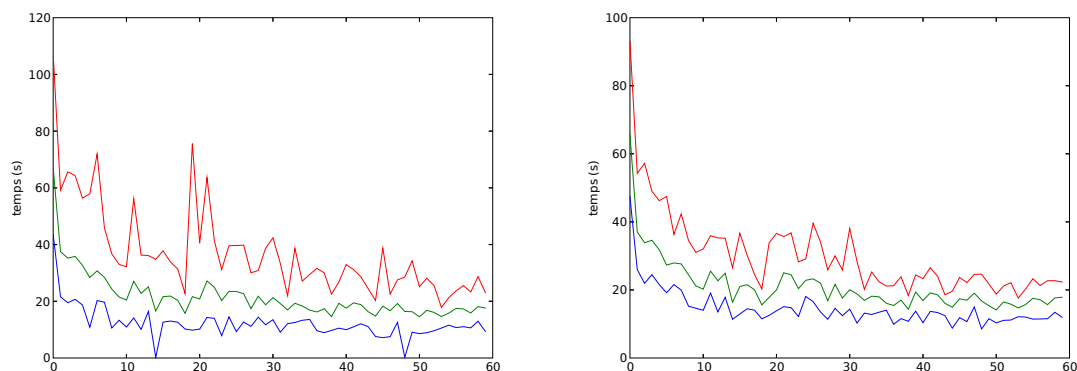


FIGURE 5.2 – Temps de réponse par carte

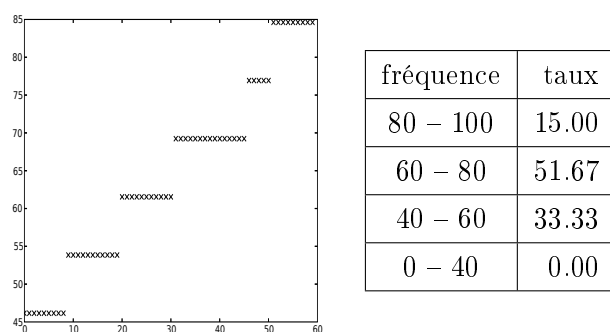


FIGURE 5.3 – Meilleure fréquence de réponse pour la répartition

Les points les plus à gauche correspondent ainsi aux cartes pour lesquelles la réponse est la plus diffuse, témoignant donc d'un certain désaccord entre les sujets, tandis que les points les plus à droite sont les cartes pour lesquels le consensus est le plus élevé. Par exemple, le graphe montre que pour neuf des cartes de la série, la même réponse à la question de la répartition a été donnée par près de 85% des sujets.

Le tableau à droite de la figure indique la répartition des taux de ces pourcentages entre différentes tranches. On observe par exemple que pour les deux tiers des cartes, le meilleur consensus (la réponse ayant été le plus souvent donnée) est obtenu à plus de 60 %.

Les deux cartes de la figure 5.4 sont deux exemples de cartes pour lesquels le consensus a été respectivement le moins souvent et le plus souvent obtenu pour cette question. Pour la carte de gauche (carte 3 de l'annexe A), la réponse la plus souvent donnée est *épars* avec 46,2%. Pour la carte de droite (carte 54), cette réponse est donnée par 84,6% des sujets.

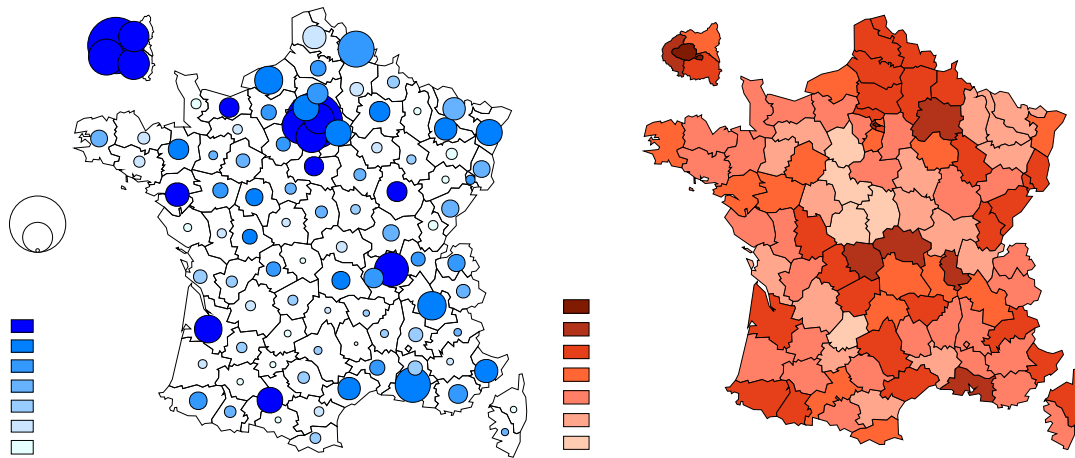


FIGURE 5.4 – Exemples de moins bon et meilleur consensus pour la répartition : cartes 3 et 54

5.3.3 Orientation

La question posée est la suivante :

Le phénomène présente une orientation :

1. nord / sud
2. est / ouest
3. nord-est / sud-ouest
4. nord-ouest / sud-est
5. non orienté
6. (non pertinent)

La figure 5.5 synthétise les résultats obtenus à cette question sous la même forme que précédemment.

Il est à noter qu'ici, les réponses « non pertinent » et « non orienté » ont été fusionnées dans l'analyse des résultats. Cela donne en effet une interprétation plus juste, dans la mesure où les deux réponses étaient en fait sensiblement équivalentes pour exprimer le fait que le phénomène ne présente pas d'orientation particulièrement prégnante.

La figure 5.6 présente des cartes pour lesquelles le consensus est le moins bon (carte 29 : E/O à 30,8%) et le meilleur (carte 18 : non orienté ou non pertinent dans 92,3% des cas).

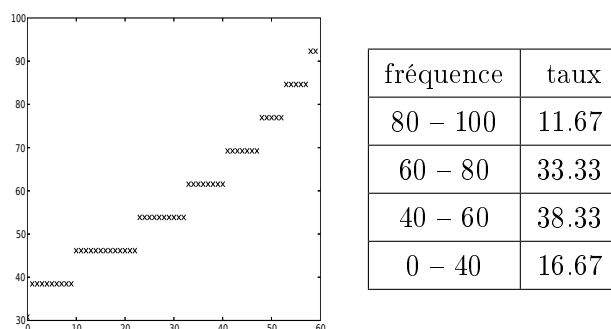


FIGURE 5.5 – Meilleure fréquence de réponse pour l'orientation

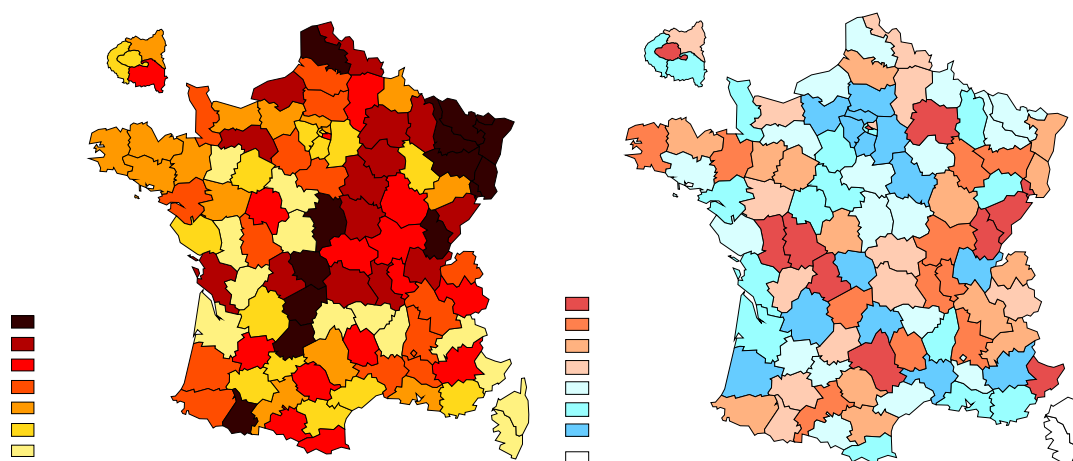


FIGURE 5.6 – Exemples de moins bon et meilleur consensus pour l'orientation : cartes 29 et 18

5.3.4 Contraste

La question posée est la suivante :

Le contraste semble :

1. très peu marqué
2. peu marqué
3. marqué
4. très marqué
5. (non pertinent)

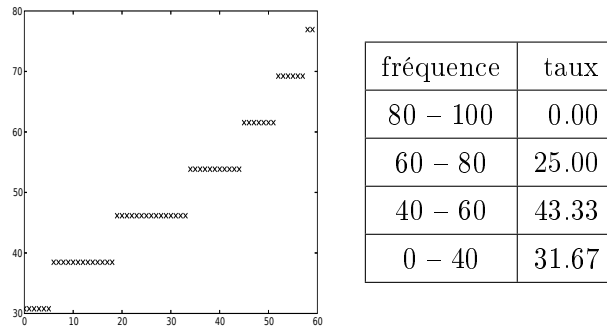


FIGURE 5.7 – Meilleure fréquence de réponse pour le contraste

La figure 5.7 présente les résultats obtenus pour cette question sous la même forme que précédemment.

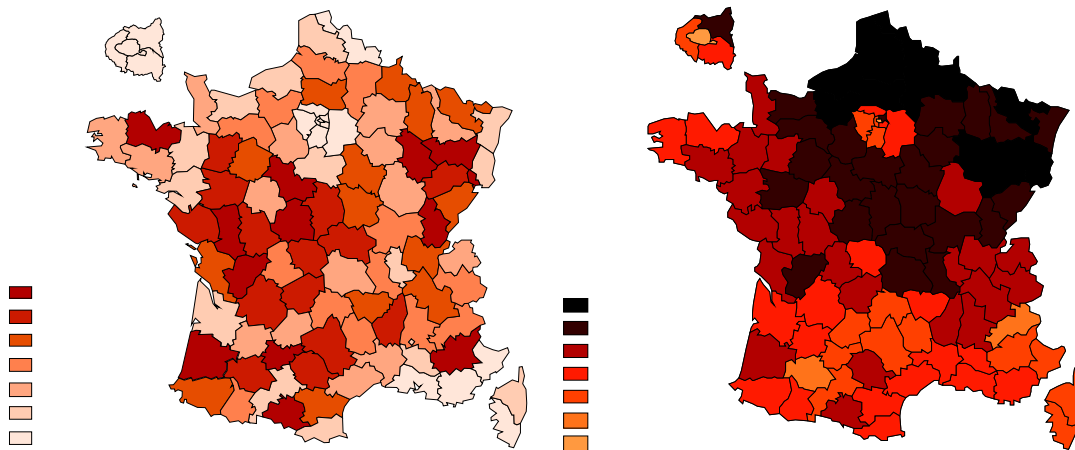


FIGURE 5.8 – Exemples de moins bon et meilleur consensus pour le contraste : cartes 5 et 51

La figure 5.8 présente des cartes pour lesquelles le consensus est le moins bon (carte 5 : très marqué à 30,8%) et le meilleur (carte 51 : très marqué à 76,9 %).

5.3.5 Zones

La question posée est la suivante :

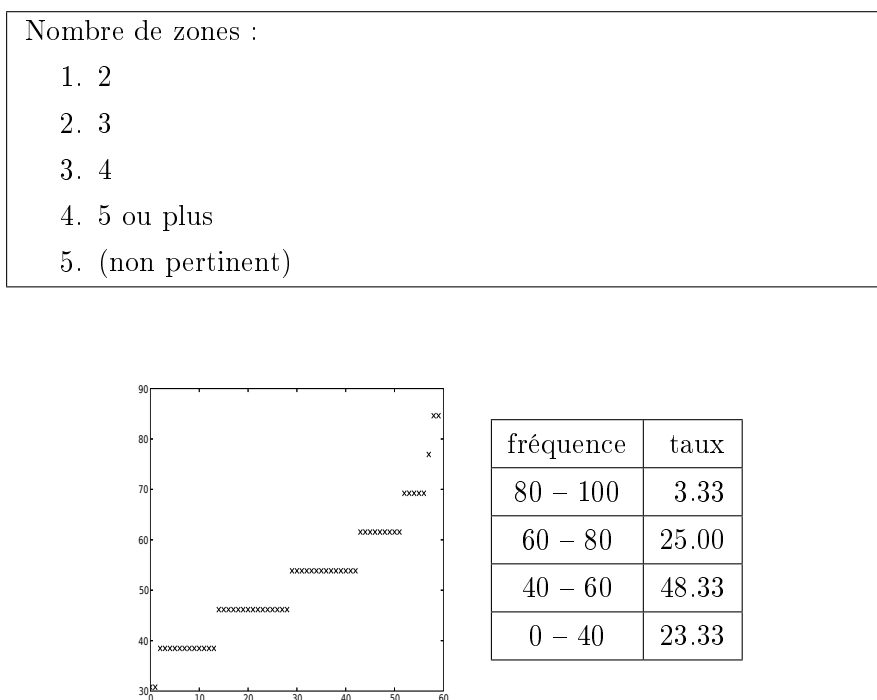


FIGURE 5.9 – Meilleure fréquence de réponse pour le nombre de zones

La figure 5.9 présente les résultats obtenus pour cette question sous la même forme que précédemment.

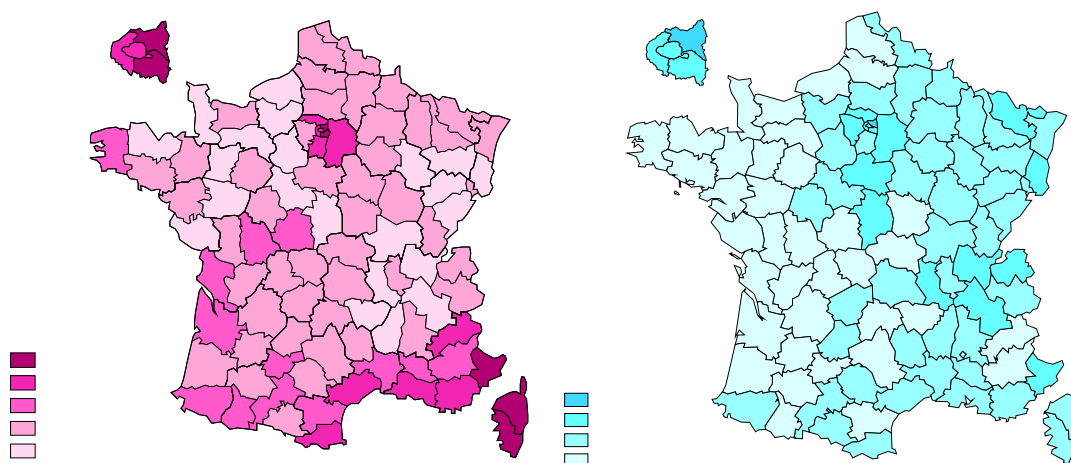


FIGURE 5.10 – Exemples de moins bon et meilleur consensus pour le nombre de zones : cartes 36 et 28

La figure 5.10 présente des cartes pour lesquelles le consensus est le moins bon (carte 36 : trois zones, à 30,8%) et le meilleur (carte 28 : deux zones à 86,4 %).

5.4 Discussion

Un certain nombre de critiques peuvent être faites sur protocole proposé et la conduite de la manipulation, qui incite donc à une certaine réserve quant à la précision des résultats.

Tout d'abord sur la formulation des questions. Nous avons noté après coup que la question concernant l'orientation était ambiguë, car il n'était pas précisé si l'axe indiqué donne la direction du gradient ou s'il est l'axe marquant l'opposition observée. C'est cette dernière interprétation qui était sous-entendue. Il aurait été souhaitable d'utiliser une iconographie explicite. Sur la question concernant le nombre de zones, il n'était pas non plus précisé s'il s'agissait du nombre de zones *ressortant* d'un *fond* plus neutre, ou si une zone relativement neutre devait être comptabilisée.

Un deuxième point incitant à relativiser les résultats concerne le nombre de participants. Treize personnes ne constituent pas une population suffisante pour obtenir des résultats statistiques fiables. Notons cependant que la relative cohérence des résultats obtenus sur la plupart des cartes montre que les interprétations ont tendance à être partagées.

Un autre point qui est assez lié concerne le nombre de variables. Il semble que la variété des représentations sur soixante cartes était trop grande pour obtenir des résultats fins permettant de conclure sur ces modes de représentation. Néanmoins, la durée de passage pour un sujet est directement liée au nombre de cartes présentées, ce qui peut contribuer à entraîner une certaine lassitude de la part des sujets si les cartes ne sont pas assez variées.

Finalement, il est difficile d'évaluer ici le rôle de l'expertise géographique dans les réponses apportées. Ceci est peut-être limité par le fait que toutes les cartes représentaient la France avec des découpages connus, et que tous les candidats étaient d'un niveau d'éducation théoriquement équivalent. Il est néanmoins probable que les *a priori* culturels sur la connaissance du territoire contribuent à biaiser la lecture des phénomènes. Les interprétations données ne relèvent certainement pas exclusivement d'une simple perception visuelle.

5.5 Conclusion

Nous avons proposé une manipulation permettant, à travers une tâche de lecture, d'exprimer une information géographique pertinente. Malgré les différents problèmes et limitations dont souffre le protocole, les résultats présentent néanmoins une cohérence certaine.

Ce qui nous intéresse ici n'est pas de conclure de manière fine sur la pertinence de telle ou telle représentation pour un phénomène donné, ni sur la manière dont ces représentations sont perçues par un lecteur. Il s'agit plutôt de mettre en évidence le fait qu'un document cartographique véhicule une information géographique, qui peut-être interprété par un lecteur. Nous avons vu que

d'une manière générale, les résultats obtenus montrent une convergence de ces interprétations. Ceci tend à valider le fait que la carte en elle-même exprime un sens partagé par divers lecteurs.

Cette manipulation fournit en outre une base pour opérationnaliser la tâche de lecture mise en œuvre. Elle définit d'une part un champ d'interprétations possibles, un mode de classification de ces cartes. D'autre part, les réponses dont nous disposons constituent un objectif permettant de juger de la pertinence d'une analyse automatique. Reste à trouver les moyens nécessaires pour extraire automatiquement d'une carte, et de manière satisfaisante, l'interprétation qu'en donne une population de lecteurs. Cette opérationnalisation sera bien entendu basée sur la modélisation présentée dans le chapitre précédent, de manière à confronter le modèle de contenu à une utilisation dans un cadre sémantique bien déterminé.

Chapitre 6

Mise en œuvre informatique

6.1 Introduction

Ce chapitre présente la mise en œuvre d'un ensemble de traitements autour du modèle présenté dans le chapitre quatre. L'objectif est de montrer que ce dernier peut être utilisé pour « calculer ». Il illustre aussi comment quelques idées relativement simples à mettre en place permettent d'obtenir des résultats intéressants pour caractériser le contenu de la carte.

La problématique de l'implémentation et de la mise en place informatique de ces traitements est abordée dans la deuxième section. Nous y décrivons les choix d'implémentations concernant notre plate-forme exploratoire pour l'étude de la carte. Nous évoquons la question de l'interopérabilité avec d'autres plates-formes, de l'intégration à d'autres outils dans un système d'information et des perspectives d'évolution.

La troisième section est consacrée aux différentes étapes d'analyse. Nous faisons ici un distinguo très important entre « analyse » et « interprétation ». L'analyse vise à exprimer la carte selon le modèle présenté dans le chapitre précédent. Le point essentiel est que, pour toute carte, il n'existe qu'une seule expression, non ambiguë, dans le modèle proposé. L'interprétation, quant à elle, vise à construire un résultat d'ordre sémantique basé sur ce modèle et éventuellement sur diverses autres sources de connaissances, qui constituent dès lors le contexte de l'interprétation. Ce résultat est, de ce fait, un *point de vue* ; il ne traduit pas une vérité intrinsèque à l'objet cartographique étudié mais il en est *une* lecture possible parmi d'autres. La validité de cette interprétation n'est donc discutable qu'à travers l'évaluation de sa pertinence dans le cadre d'une tâche donnée. Il s'agit de savoir si telle interprétation permet de répondre de manière satisfaisante à la question posée. Cette remarque est particulièrement importante dans la perspective de proposer, à terme, des outils de recherche d'information. Il faut être en mesure de relativiser les résultats obtenus en étant capable de remettre en question le contexte dans lequel l'interprétation est faite.

Cette distinction résulte en fait du principe de l'explicitation des liens décrits dans la section 2.3.2. L'analyse est basée sur l'exploitation de caractéristiques propres au mode d'expression. Il s'agit d'une certaine manière de reconstruire des liens que nous avons qualifiés d'« explicites dans la forme », qui sont intrinsèques à un mode d'expression. Nous dirons qu'ils sont non-ambigus car ils relèvent de la définition admise et partagée de ce qui est constitutif de ce mode d'expression particulier. Au contraire, les interprétations vont relever de la mise en évidence de liens « implicites » que le document peut susciter, en son sein ou par confrontation avec d'autres sources d'information. Quelques exemples d'interprétation permettant de caractériser le contenu de la carte sont présentés dans la quatrième section.

La dernière section est consacrée à l'utilisation de ce modèle à travers la plate-forme pour l'établissement de liens sémantiques vers d'autres composantes, cartes ou textes, du document.

6.2 Cartex, une plate-forme exploratoire pour le document cartographique

6.2.1 Objectifs

La plate-forme que nous souhaitons mettre en œuvre doit répondre à plusieurs impératifs.

Tout d'abord elle doit permettre intégrer l'ensemble des concepts relatifs à la carte qui ont été présentés précédemment. Outre les cartes, elle doit permettre d'adresser également d'autres modalités, notamment le texte. En effet, toute notre démarche est basée sur un point de vue global de l'information dans l'ensemble du document composite. La plate-forme doit donc permettre d'appréhender les documents dans leur ensemble.

Un autre aspect du système est la rapidité de sa mise en œuvre et sa souplesse. Il doit être à même d'évoluer rapidement au fur et à mesure que s'expriment de nouveaux besoins, notamment sur l'ajout et l'affinement de nouvelles modalités. De par son aspect expérimental, il doit également permettre un prototypage rapide de nouvelles idées.

Finalement, il ne présage *a priori* d'aucun usage spécifique particulier. Il s'agit d'offrir un accès cohérent à d'un ensemble documentaire au sens large. Une des prérogatives du système sera donc l'analyse de documents source, donnés sous une forme particulière afin de pouvoir les exprimer en terme de composantes et d'aspects. En outre, il doit permettre de mettre en œuvre des séries de traitements exploitant ces différentes modalités afin de construire un *sens* pertinent dans le cadre d'une tâche donnée. Finalement, et pour en quelque sorte « boucler la boucle », il doit permettre d'exprimer ce sens à l'utilisateur, c'est-à-dire qu'il doit permettre le rendu d'un document « augmenté » dans un cadre donné.

Ce dernier point renvoie de fait à l'interopérabilité. L'ensemble des *sens* qui peuvent être construits à travers une interprétation, une lecture du document ainsi structuré, peut s'adresser à un lecteur humain ou à une machine. En outre la construction de ces sens, l'interprétation du document dans un contexte particulier peut nécessiter l'usage de ressources externes au système, un apport de connaissance. En d'autres termes, si la plate-forme a vocation à proposer une organisation, une structuration précise du document, elle s'intègre nécessairement dans un système d'information hétérogène.

6.2.2 Choix techniques retenus pour l'implémentation

Langage de programmation

Pour l'implémentation de la plate-forme, nous utilisons principalement le langage Python¹⁶. Il s'agit d'un langage interprété dit *multi-paradigme*, permettant à la fois un style de programmation impérative structurée et orientée objet, ainsi que fonctionnelle dans une certaine mesure, même si ce n'est pas un langage fonctionnel pur. Sa souplesse lui permet d'être utilisé aussi bien pour des programmes de types *scripts* effectuant des petites tâches, que pour des applications plus complexes.

Les atouts de Python sont multiples. La syntaxe simple et très peu verbeuse confère au code une grande lisibilité. Elle permet d'exprimer des concepts de haut niveau pour la manipulation des données. Le langage intègre des structures de données riches comme les listes ou les tableaux associatifs, ainsi que des constructions comme les itérateurs et les générateurs. Ceci permet la mise en œuvre rapide et efficace de traitements divers. Son typage dynamique ajoute une certaine souplesse, appréciable notamment dans le cadre d'un développement prototypal.

Il existe un nombre important de modules fournis en standard ou aisément installables implémentant certaines fonctionnalités spécifiques comme l'accès aux bases de données, l'interfaçage graphique ou encore le calcul scientifique. Au besoin, le langage Python est très facilement interfaçable avec d'autres langages, notamment le C et C++, ce qui permet le cas échéant d'implémenter des traitements plus coûteux dans un langage de plus bas niveau, ou d'utiliser un code déjà existant depuis Python.

Plate-forme applicative

Nous utilisons la plate-forme applicative *Twisted*¹⁷. Il s'agit d'un ensemble d'outils construit autour d'un système événementiel voué au développement de serveurs applicatifs asynchrones

16. <http://www.python.org/>

17. <http://www.twistedmatrix.com/>

multi-protocoles. Elle intègre également un mécanisme d'interfaces et d'adaptateurs permettant la programmation par aspect [KLM⁺97].

L'idée est d'organiser l'accès aux documents au travers d'un serveur applicatif qui gère le stockage et la cohérence des données, et qui puisse proposer différents modes de présentation de ces données, afin de les partager avec d'autres applications. Le serveur applicatif peut intégrer par exemple un module HTTP permettant d'explorer les données à travers un navigateur Web en générant des pages HTML. Il peut aussi proposer un ensemble de *Services WEB* en implémentant des requêtes XML-RPC ou SOAP.

Il est ainsi relativement aisé d'ajouter différents modes d'accès à ces données, ou de faire appel à des services extérieurs. Cela offre de nombreuses possibilités dans le cadre de l'intégration de notre plate-forme au sein d'un système d'information hétérogène.

6.2.3 Organisation de l'information dans la plate-forme

La plate-forme se présente sous la forme d'un ensemble de modules Python. Ceux-ci peuvent être regroupés, comme le montre le diagramme 6.1, en différents *packages* selon le rôle qu'ils occupent dans le système.

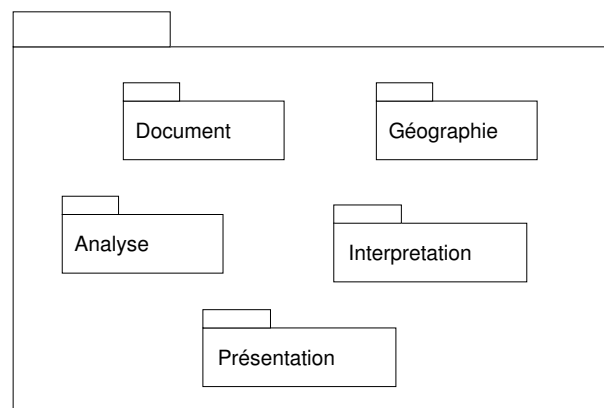


FIGURE 6.1 – L'ensemble des packages de la plate-forme

Cet éclatement reflète en fait assez bien les différents aspects du problème, les niveaux conceptuels qu'il nous semble important d'envisager dès lors que l'on s'intéresse à la sémantique dans le document multimodal.

Structure de document

Le *package document* contient l'ensemble des classes servant à représenter le contenu d'un document multimodal selon notre modèle. Il s'agit de formaliser ce que nous appelons un document dans le système, et donc ce que notre système est capable d'exprimer. C'est autour de cette modélisation que s'articule l'ensemble des traitements et représentations implémentés de la plate-forme ; elle mérite donc une description plus approfondie.

Le diagramme 6.2 désigne la classe *Document* comme la classe centrale du package. D'un point de vue conceptuel, un document représente une entité réputée avoir un contenu informatif construit et un tant soit peu cohérent, indépendamment de sa forme physique. Il peut être un simple article, un atlas complet, etc. L'idée étant que l'on intègre au système ce qu'il est à même de pouvoir exploiter.

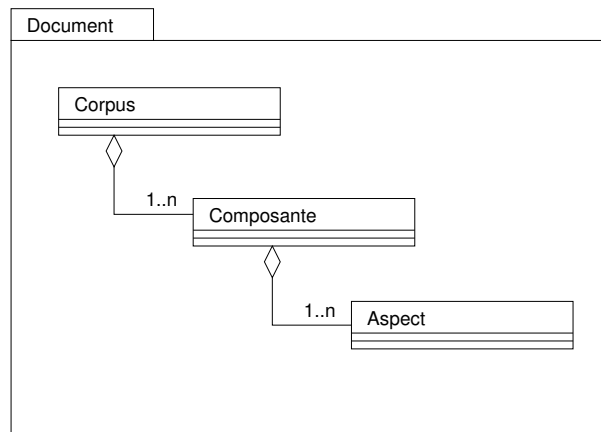


FIGURE 6.2 – Package document

Outre un nom, un document est simplement caractérisé par l'ensemble des *Composante* dont il est constitué. Ces composantes implémentent chacune une modalité au sens où nous l'avons défini dans le premier chapitre. Ici, les modalités considérées sont la carte thématique et le texte structuré.

Une composante est elle-même définie par l'ensemble de ses *aspects*. Nous avons vu que la carte thématique est définie par trois aspects : physique, graphique et logique. Ceux-ci reprennent simplement le modèle faisant l'objet d'une description détaillée au chapitre quatre ; nous ne nous y attarderons pas.

Dans le cadre de notre étude nous avons défini la composante supplémentaire *texte structuré*. Celle-ci dispose d'une propriété particulière : elle permet d'imposer une linéarité au document, un *corps* dans lequel peuvent s'inscrire d'autres composantes. Notons néanmoins qu'elle ne dispose pas dans notre modèle d'un statut particulier par rapport aux autres composantes. Cela rejoint

notre vision du document multi-modal dans lequel nous ne concevons pas a *priori* le texte comme un élément privilégié, mais comme une composante parmi les autres.

Comme pour la carte thématique, nous avons défini le texte structuré selon trois aspects : l'aspect physique, l'aspect *flot*, et l'aspect structurel. Comme dans le cas de la carte, l'aspect physique n'a pas d'intérêt particulier en terme de modélisation, outre le fait qu'il permet de lier la composante à sa forme physique, à la source à partir de laquelle est construit la composante. Il s'agit simplement d'un ensemble d'attribut/valeur, avec la possibilité de stocker le contenu d'un ou de plusieurs fichier(s) dont elle est issue, ainsi que des URI. L'aspect *flot* traduit le caractère linéaire du texte. Il contient une séquence d'éléments qui peuvent être soit des mots, soit une référence à une composante externe. L'aspect structurel permet de décrire l'organisation du texte selon une structure hiérarchique, section, sous-section, paragraphe...

La figure 6.3 illustre la manière dont la composante textuelle structure le document en intégrant d'autres composantes de celui-ci. Cette modélisation ne se veut pas exhaustive, et ne traduit pas tout ce que pourrait être la composante textuelle. Elle permet cependant d'illustrer la cohérence globale de notre vision de l'organisation du document en composantes.

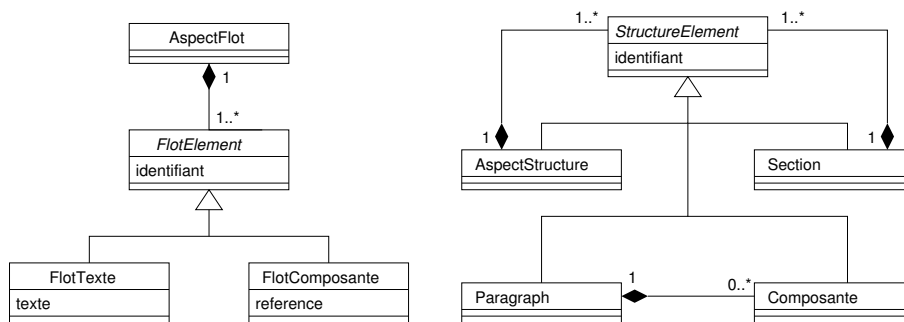


FIGURE 6.3 – Modélisation des aspects flot et structure pour le texte

L'ensemble des classes relatives à ce package n'ont pas de rôle comportemental particulier. Les instances de ces classes dans le système constituent la base de données documentaire. Notons qu'en terme d'implémentation, le système se charge de stocker ces objets de manière persistante et offre un accès transparent à leur contenu à la demande.

Processus d'analyse

L'ensemble des traitements que nous avons catégorisés comme traitements d'analyse sont regroupés dans ce package. Il s'agit de tous les processus qui permettent de construire des documents, au sens de notre modèle, à partir des différentes sources qui sont susceptibles d'alimenter le système.

Ce package ne contient pas réellement de classes à vocation structurantes, mais plutôt une collection de traitements, d'algorithmes dédiés à intégrer les différents corpus auxquels nous pouvons être amenés à nous intéresser.

De ce fait, nous ne donnons pas ici de description plus formelle de ce package ; nous renvoyons à la section suivante qui est consacrée à la mise en œuvre de la rétro-conversion de notre corpus de travail.

Processus d'interprétation

Tandis que l'analyse s'attache exclusivement à la construction des composantes des documents, les processus dits *d'interprétation* sont ceux qui se basent sur ces composantes pour créer un sens nouveau et proposer une lecture particulière du document. La principale différence est que les interprétations peuvent être multiples et peuvent faire appel à différentes sources de connaissances. L'analyse, elle, ne doit faire appel à aucune autre connaissance que celle du fonctionnement interne de la composante étudiée.

Là encore, le package n'est pas décrit plus en détail. La quatrième section décrira quelques traitements interprétatifs mis en œuvre dans la plate-forme.

Présentation

Le *package présentation* regroupe les différents modules ayant un rôle d'interfaçage avec d'autres applications. Il contient en particulier l'ensemble du code permettant de transcrire les contenus dans leur représentation XML. Il propose également une application Web permettant d'explorer le contenu d'un corpus de documents interprété sous forme de pages HTML générées dynamiquement (figure 6.4), permettant d'intégrer les différentes interprétations, notamment sous forme de liens hypertexte.

Géographie

Nous avons vu au chapitre quatre que les unités d'informations géographiques signifiées par la carte font implicitement référence à des entités géographiques supposées «connues» à la fois par l'auteur et le lecteur. Or, cette connaissance géographique n'est pas contenue dans la carte elle-même en tant que modalité. C'est selon nous la lecture de la carte avec l'apport de connaissance qui permet de créer du sens. Afin de pouvoir proposer des traitements informatiques obéissant à ce principe, il est nécessaire de formaliser d'une façon ou d'une autre l'accès à cette connaissance géographique. C'est à cela qu'est dédié ce dernier package.

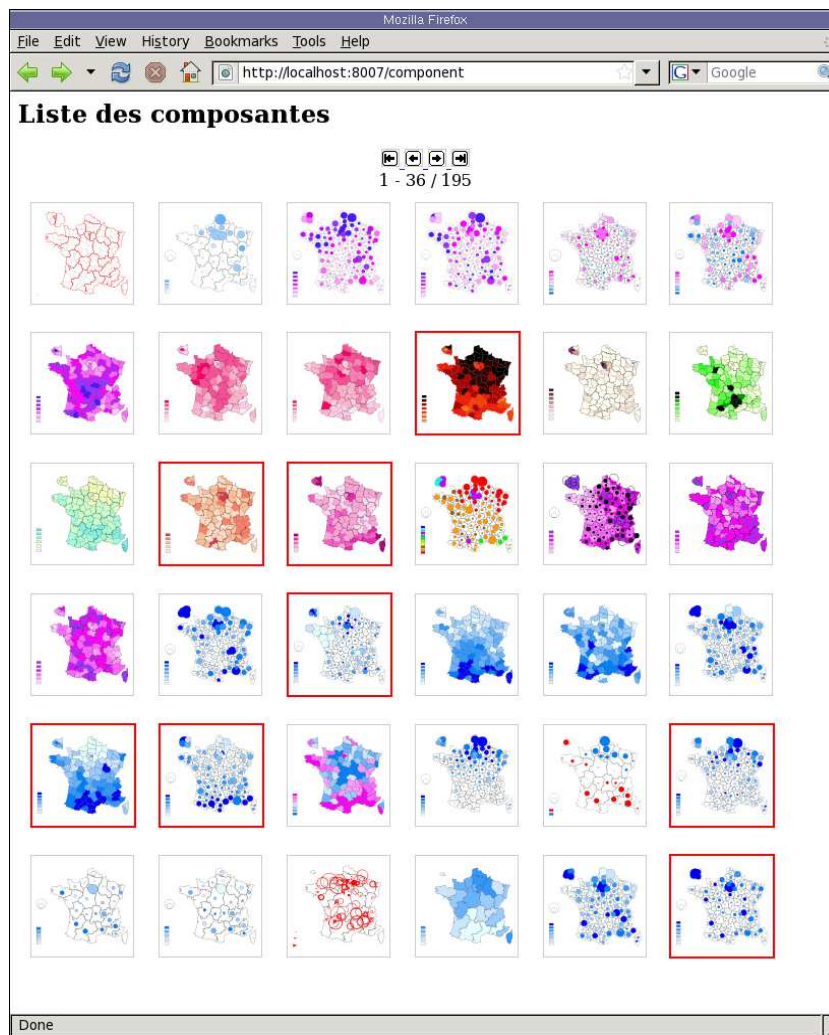


FIGURE 6.4 – Un exemple de vue HTML

Dans notre modélisation (figure 6.5), la connaissance géographique du système se traduit par un ensemble organisé d'entités géographiques. Une même entité peut être considérée selon trois aspects :

- un aspect «toponyme», qui associe à cette entité le ou les noms sous lesquels celle-ci est connue,
- un aspect «géométrie», qui exprime l'entité sous forme de coordonnées,
- un aspect «partitionnement», qui éclate cette entité en un ensemble des nouvelles entités qui la composent.

Cette organisation récursive des entités géoréférencées est bien en accord avec la notion d'emboîtement d'échelles présentée au premier chapitre. Notons qu'une même entité peut avoir plusieurs toponymes, plusieurs géométries, ou plusieurs partitionnements.

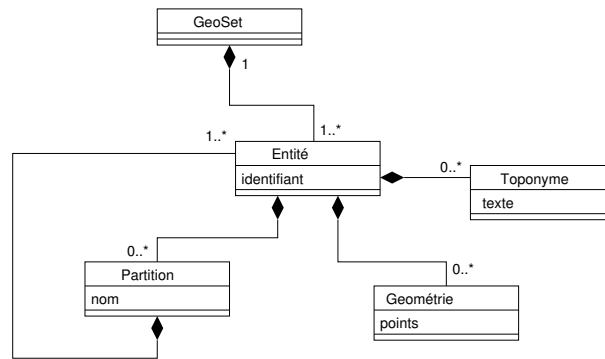


FIGURE 6.5 – Modélisation du package géographique

6.3 Problématique de la rétro-conversion

La section précédente regroupe les traitements effectués au sein du système en deux catégories : l'analyse, qui vise à structurer les documents sources selon les différentes composantes et les aspects dont elles relèvent, et l'interprétation qui vise à construire un sens d'un niveau supérieur en exploitant ces aspects. Le premier type de traitement correspond à une forme de rétro-conversion.

6.3.1 Principe général

Le principe général de la reconstruction des aspects est de partir d'un document source quelconque et d'en exprimer les différentes composantes selon leurs modalités respectives, tout au moins celles que le système est capable de reconnaître.

La figure 6.6 illustre schématiquement les différentes étapes que cela implique. Les différentes composantes du document source sont d'abord séparées, puis chacune d'elles est analysée de manière à exprimer son contenu selon le modèle retenu pour sa modalité. Dans notre cadre nous ne nous intéressons pas à la problématique de la séparation en composantes, et notamment la séparation texte/image. Nous supposons que cette étape a déjà été réalisée au préalable.

6.3.2 Caractérisation de l'aspect physique

Nous avons déjà vu au chapitre quatre que l'aspect physique traduit l'ensemble des informations bas niveau qui décrivent le média original. Cet aspect constitue de notre point de vue la donnée d'entrée du système.

En ce qui nous concerne, l'aspect physique indique simplement le fichier qui contient la carte

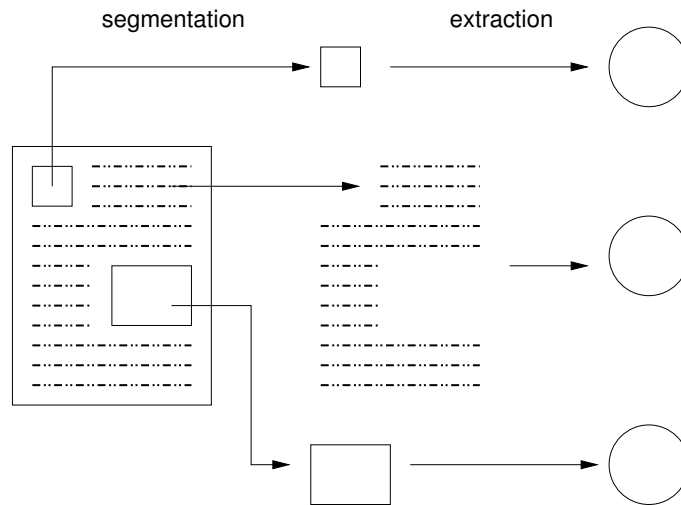


FIGURE 6.6 – Principe général de la rétro-conversion

que l'on se propose d'analyser. Dans le cas de notre corpus, les cartes étaient données sous formes de fichier *Adobe Illustrator*. Il s'agit d'un format de fichier lié à un programme de dessin vectoriel très répandu.

6.3.3 Reconstruction de l'aspect graphique

Les processus à mettre en œuvre pour la reconstruction de l'aspect physique sont intimement liés au média lui-même d'une part, et aux spécificités du corpus d'autre part.

Dans notre modèle l'aspect graphique est une description de type vectoriel de l'ensemble des éléments visuels constituant l'image. Le corpus étudié étant donné sous forme vectorielle, il s'agit en fait de ré-exprimer les éléments graphiques d'un modèle dans le notre. Le modèle donné était en l'occurrence dérivé de PostScript. L'interprétation des primitives graphiques du langage permet de retrouver les formes et leurs attributs graphiques.

Si cette opération est généralement relativement simple et permet de récupérer fidèlement les éléments graphiques de l'image, il est néanmoins nécessaire de mettre en place une série de filtres permettant de corriger un certain nombre des défauts que peuvent contenir les fichiers sources. Ces défauts peuvent être liés à des erreurs dans le processus d'édition, ou à des limitations ou idiosyncrasies de programmes générant les fichiers. Voici quelques exemples de difficultés que nous avons pu rencontrer :

- Les formes élémentaires ne sont pas toujours construites avec les primitives existantes qui permettent de les exprimer au mieux : les cercles, notamment, sont en fait approximés dans notre corpus par une série de courbes de Bézier, ce qui implique de détecter ce motif et de

recalculer un cercle correspondant. De manière similaire, même si le cas est plus simple, un rectangle est exprimé par une série de lignes.

- Le fichier peut contenir des éléments graphiques qui ne sont pas supposés être présents dans le rendu final, comme des notes hors-champs.
- Plus étonnant, dans une partie du corpus, l'ensemble des éléments constituant le fond de carte est dupliqué dans la source.

Dans le cas où les images sont données sous forme raster, une segmentation est nécessaire. Comme précédemment, la stratégie à utiliser dépend essentiellement du corpus lui-même. Nous notons simplement que d'une manière générale il est possible de tirer parti du fait qu'une carte thématique, en tant qu'image complètement construite, présente une certaine régularité et simplicité. Les formes sont souvent nettes, précises, et peu ambiguës ; les contours sont bien marqués, les surfaces sont homogènes et les couleurs bien séparables. Bien qu'elle dépende évidemment des conditions d'acquisition, la reconstruction est relativement simplifiée, comme cela a pu être montré dans un projet de Master[LS02].

6.3.4 Reconstruction de l'aspect logique

Une fois que l'aspect graphique est connu, la reconstruction de l'aspect logique consiste à trouver comment organiser les éléments graphiques pour qu'ils expriment une carte cohérente.

Ici encore, la stratégie à mettre en œuvre est liée à une connaissance des spécificités du corpus, même si cela est beaucoup moins marqué que pour la reconstruction de l'aspect graphique. Disons que le corpus peut orienter le processus de reconstruction pour aller plus simplement rechercher les mise en formes particulières qu'il utilise.

Dans le cas de notre corpus le schéma de l'analyse est donné par la figure 6.7. Le principe est le suivant. On commence par chercher de quel type de carte il s'agit, en procédant de la manière suivante :

1. Chercher les cercles vides (simple contour ou dont la surface est de la couleur du fond).
2. Chercher tous les rectangles.
3. Si on trouve les deux, faire l'hypothèse qu'il s'agit d'une carte avec deux valuations.
4. Si on ne trouve que des rectangles, faire l'hypothèse qu'il s'agit d'une carte en aplat.
5. Si on ne trouve que des cercles, faire l'hypothèse qu'il s'agit d'une carte en cercles proportionnels.
6. Si on n'a ni l'un ni l'autre, faire l'hypothèse qu'il ne s'agit pas d'une carte.

Ensuite on reconstruit la ou les légendes avec les éléments trouvés.

1. Déterminer, selon le cas, l'ordre dans lesquels les rectangles sont présentés et l'imbrication des cercles. Considérer ces derniers comme la définition de l'implantation de la légende.

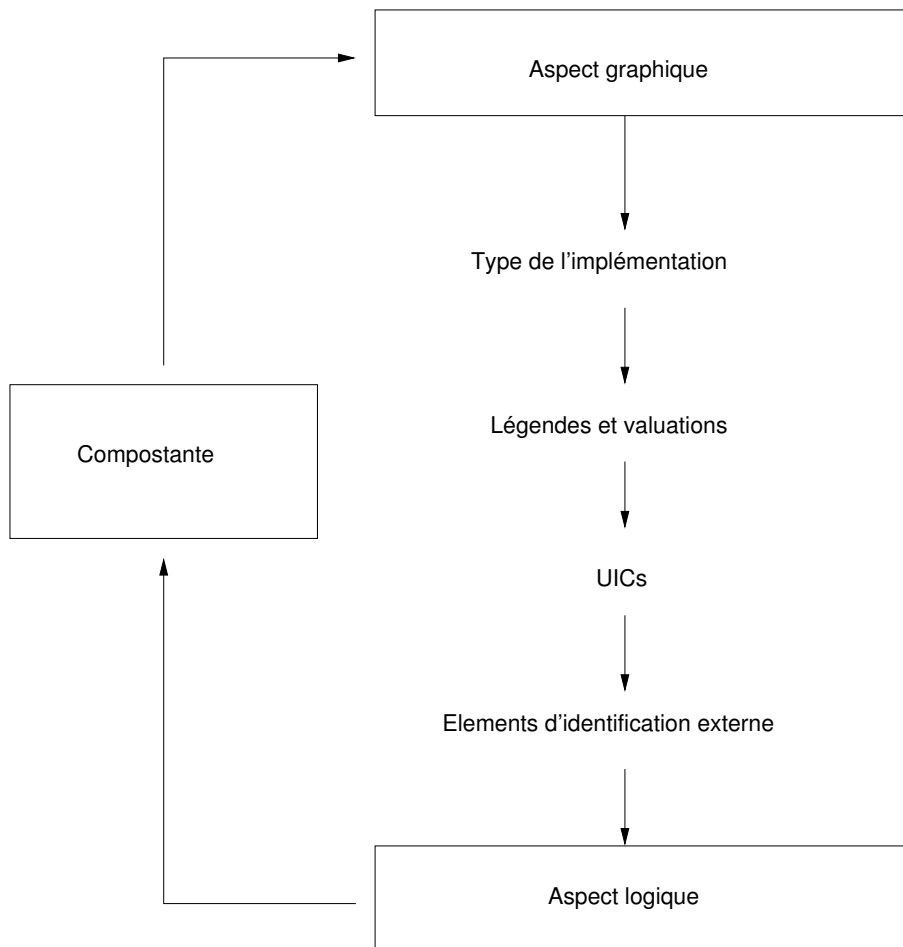


FIGURE 6.7 – Schéma de la reconstruction de l'aspect logique de la carte

2. Trouver des éléments textuels proches de ces-derniers et alignés. Considérer qu'ils constituent la définition de la valuation pour l'implémentation en question.
3. Trouver des éléments textuels proches des ensembles formant ces définitions. Considérer qu'ils forment la description de la valuation.
4. Préciser le type de ces valuations : une valuation en cercle traduit nécessairement une variable numérique. L'étude des couleurs des rectangles permet de déterminer s'il s'agit d'une variable ordonnable ou non.

Une fois la légende reconstruite, organiser l'ensemble des éléments restant.

1. Les éléments textuels sont des éléments de contexte.
2. Les lignes et surfaces vides sont des éléments du fond de carte.
3. Les autres éléments sont des unités d'information cartographique ; pour chacun d'eux retrouver leurs valeurs pour chacune des valuations existantes : Dans le cas des cercles proportionnels, il existe nécessairement une valuation d'une légende basée sur la taille des cercles. Pour les aplats, il existe nécessairement une valuation basée sur la couleur.

Ce processus est relativement simple mais il permet d'exprimer toutes les cartes de notre corpus. Son principe est basé sur notre hypothèse selon laquelle la structure interne d'une modalité doit être non-ambiguë. S'il s'agit d'une carte d'un type connu, alors elle ne peut avoir qu'une seule expression dans notre modèle (elle pourrait en fait être construite de différentes manières graphiquement, mais toutes ces constructions seraient équivalentes d'un point de vue logique). Si des anomalies ou des incohérences qui ne peuvent être corrigées sont détectées, l'image est rejetée.

6.4 Quelques approches pour l'interprétation

Contrairement aux traitements d'analyse, qui s'appuient sur une connaissance interne au système pour structurer une source donnée en un ensemble non-ambigu de composantes préalablement modélisées, l'interprétation, elle, correspond à un point de vue particulier, une lecture particulière de ces documents afin d'en tirer un *sens nouveau*. Ce dernier est évidemment propre à la tâche que s'est fixé le lecteur.

Nous proposons ici différentes tâches d'interprétations qui nous semblent pertinentes dans le cas de la carte, à savoir l'identification des unités d'informations, la simplification du phénomène observé et la détermination d'une éventuelle orientation du phénomène.

6.4.1 Identification des unités d'informations

Selon notre modélisation, l'identification consiste simplement à associer à chaque unité d'information cartographique (présent dans l'aspect logique de la cartes) une entité géographique de la base de connaissance du système. Cela se fait en deux grandes étapes :

Tout d'abord, la sélection d'un ensemble d'entités potentiellement candidates parmi l'ensemble des entités connues du système. Une connaissance *a priori* du contexte du document peut permettre de réduire l'espace de recherche. Dans notre système, nous considérons le nombre d'unités d'information cartographiques présentes sur la carte, puis nous cherchons les entités candidates parmi celles qui participent à un partitionnement connu de cardinalité voisine, en supposant que la carte représente une entité partitionnée, ce qui est souvent le cas.

C'est ensuite l'identification proprement dite, c'est-à-dire l'association à chaque unité d'information cartographique d'une entité sélectionnée. Plusieurs méthodes sont envisageables, mais quelque soit celle utilisée, elle passe par l'aspect graphique de la carte puisque c'est dans celui-ci que sont exprimées les entités, à travers la notion d'ancre que nous avons explicitée au chapitre quatre.

Dans notre implémentation, nous nous sommes servis de la géométrie des entités pour les reconnaître en les comparant à la forme des éléments graphiques associés aux unités dans la carte. Dans le cas des aplats de couleurs, il s'agit des polygones constituant les unités elles-mêmes. Dans le cas des cercles où l'ancre (au sens du chapitre quatre) est un point, une étape supplémentaire consiste à chercher les éléments du fond de carte contenant chacun des cercles. Ce sont ces géométries qui servent alors à l'identification.

Les recoupements se font en essayant de minimiser l'erreur obtenue en faisant la différence symétrique entre la forme des entités connues du système et celles considérées sur la carte. La figure 6.8 illustre le principe du calcul de cette erreur. Les deux premières formes correspondent à la géométrie d'une entité à identifier et à celle d'une entité connue du système. La troisième image représente la différence symétrique entre ces deux formes. L'erreur, quantifiée par la surface de cette dernière, est donnée par la formule suivante :

$$E(u, e) = S(u \Delta e)$$

Où u est la géométrie considérée sur la carte, e la géométrie de l'entité connue testée et S la fonction qui associe à une géométrie sa surface.



FIGURE 6.8 – Calcul de l'erreur pour l'identification

Cette technique, bien qu'assez simple, donne néanmoins de bons résultats dès lors que les cartes présentent un fond de carte régulier. Elle offre en outre l'avantage d'être insensible au problème posé par un éventuel cartouche¹⁸.

6.4.2 Simplification du phénomène

La simplification du phénomène est une opération consistant en quelque sorte à résumer la carte, en produisant une carte binaire qui augmente le contraste de la carte originale, gommant certains détails du phénomène pour faire ressortir une tendance forte. Pour ce faire, de nombreux procédés sont envisageables. La solution à utiliser dépend en fait de l'objectif souhaité.

18. lorsque certaines entités géographiques sont représentées à une autre échelle et positionnées ailleurs qu'à leurs places *géographiquement correctes* pour des questions de lisibilité. C'est souvent le cas de l'île de France.

Une simplification peut être vue comme un regroupement d'entités dans un nombre réduit de classes. Cela revient du point de vue de l'aspect logique à créer une nouvelle valuation de type symbolique et à assigner une valeur pour celle-ci à chacune des unités.

Les possibilités de procéder sont nombreuses. Voici néanmoins quelques principes notables, qui permettent, si ce n'est de catégoriser les opérateurs de simplification que l'on peut être amené à implémenter, d'en indiquer au moins quelques caractéristiques :

- Quelle est l'influence réciproque des unités sur leur classification : Faut-il prendre en compte la géométrie ou la topologie des unités représentées.
- Quels sont les éventuelles connaissances externes mobilisées, notamment par le biais de l'identification des unités d'informations cartographiques ?
- La simplification porte-t-elle uniquement sur des considérations visuelles, ou se base-t-elle sur les valeurs thématiques.

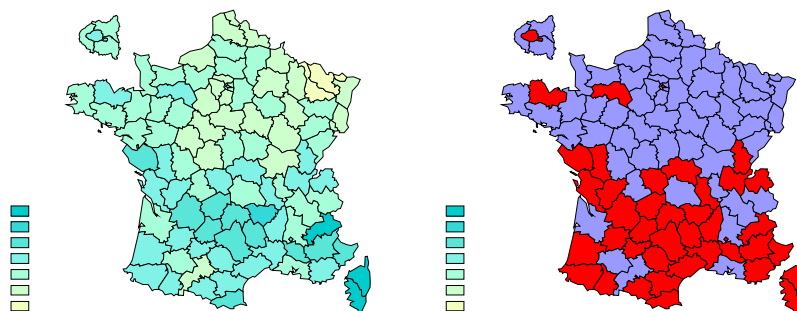


FIGURE 6.9 – Exemple de simplification

La figure 6.9 représente un exemple de simplification obtenue en classant les unités d'informations cartographiques en deux catégories, les *fortes* et les *faibles*. Ceci se fait en comparant simplement la valeur associée à chaque unité (ici le numéro d'ordre dans la liste des classes de la légende) à la moyenne de l'ensemble des unités de la carte. Cette valeur qualitative constitue une nouvelle valuation.

Le résultat est assez intéressant car il révèle une organisation très bipolaire, ce qui n'était pas nécessairement facile à percevoir sur la carte initiale. La couleur est utilisée pour exprimer cette nouvelle valuation à la place de l'ancienne.

6.4.3 Détermination d'une orientation

Cette tâche d'interprétation consiste à déterminer si la spatialité du phénomène observé présente une orientation significative. Là encore plusieurs méthodes sont envisageables, et les remarques faites plus haut s'appliquent également.

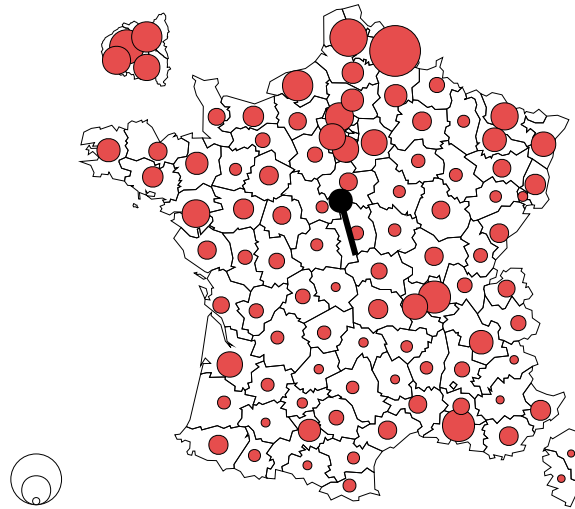


FIGURE 6.10 – Exemple de calcul d’orientation d’un phénomène sur une carte

Dans l’exemple présenté sur la figure 6.10 l’orientation est déterminée comme suit :

- Le centre géométrique O de la carte est d’abord calculé en prenant la moyenne des positions des unités d’informations cartographiques représentées.
- Un centre de gravité G est ensuite calculé, en attribuant un poids à chacune de ces unités. Ce poids est déterminé par le carré de la valeur de chaque unité, qui correspond ici au rayon des cercles. Ceci afin de traduire le fait que si l’on souhaite quantifier l’impact visuel d’un cercle par rapport à un autre, la relation entre les deux fera intervenir la surface plutôt que le rayon.
- Le vecteur OG traduit alors un déséquilibre entre l’espace représenté et la spatialité du phénomène qui s’exprime sur cet espace, dans la direction indiquée par le vecteur.

Notons qu’ici aucune identification n’est effectuée préalablement. Il en découle que le cartouche contenant une vue détaillée de l’Île de France fausse en quelque sorte le résultat d’un point de vue purement géographique. Néanmoins ce biais est également présent lorsqu’un lecteur humain observe la carte, même si l’on suppose que ce dernier peut, par sa connaissance, compenser dans une certaine mesure cette irrégularité géographique.

6.5 Application dans le contexte multi-modal

Dans cette section, nous présentons succinctement quelques manières de concevoir l’établissement de liens sémantiques entre différentes composantes d’un corpus géographique.

6.5.1 Liens entre composantes

La notion de lien est essentielle à notre système. Ils permettent aux éléments structurants d'un aspect d'une composante, de faire référence à des éléments structurants d'un autre aspect de cette même composante. Nous avons vu en particulier dans le chapitre quatre que les éléments de l'aspect logique d'une carte font référence à leur(s) pendant(s) dans l'aspect graphique. La rétro-conversion consiste à expliciter ces liens.

De la même manière, l'identification consiste à établir un lien entre des unités représentées sur une carte et une entité connue dans le *package* géographie.

De façon identique, les liens multimodaux sont ceux qui vont permettre de lier entre eux des composantes différentes (les *liens globaux* selon Malandain[Mal00]), ou des éléments structurants d'un aspect d'une composante à ceux d'une autre composante (*liens minimaux ou intermédiaires*).

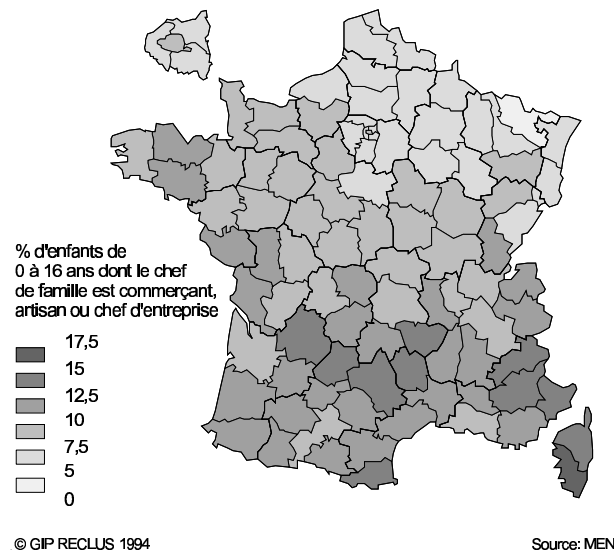
Le système permet donc d'envisager des liens cartes à cartes. Les interprétations proposées ci-dessus constituent une possibilité d'indexation des cartes. Par exemple, les cartes présentant une orientation similaire peuvent être implicitement liées. Un lien peut aussi porter sur les valuations ou les implémentations utilisées : l'ensemble des cartes représentant la même variable thématique sur des temps ou des espaces différents.

Dès lors que les unités d'informations cartographiques sont identifiées, des liens peuvent porter sur des mêmes groupes d'entités dans plusieurs cartes, qui seraient reliés par le fait qu'ils présentent une structure similaire pour deux phénomènes différents, établissant ainsi une possible corrélation entre deux thématiques.

Des liens peuvent aussi exister entre texte et carte. En fait, l'architecture présentée intègre déjà une forme de lien multimodal, puisque dans le cas d'un corpus mêlant texte et composante graphique, ces composantes graphiques sont intégrées dans la structure et le flot du texte par une référence à une composante externe dans les aspect textuels concernés (voir la figure 6.3).

En outre, dès lors que des syntagmes nominaux extraits du texte par des analyseurs (comme ceux présentés brièvement dans le premier chapitre) sont caractérisés, il peuvent donner lieu à des éléments d'un nouvel aspect textuel adapté, et être liés par ce biais à des entités données comme unités ou groupe d'unités dans des cartes. La section suivante donne une illustration de ce type de lien inter-modalité.

Les enfants de commerçants, artisans
et chefs d'entreprise en 1990



La répartition des enfants de commerçants, artisans et chefs d'entreprise partage clairement la France en deux : la moitié méridionale, où ils sont relativement nombreux, avec 10 à 15% des enfants, et la France du Nord où leur proportion va de 5 à 10%, Bretagne exceptée.

FIGURE 6.11 – Une carte et le texte associé

6.5.2 Perspective d'une approche couplée

L'exemple suivant montre comment l'interprétation conjointe des analyses données par les deux composantes texte et carte peuvent permettre d'enrichir l'information extraite, conformément à notre hypothèse générale selon laquelle l'information est véhiculée par l'ensemble des composantes.

La figure 6.11 présente une carte et un texte qui lui est associé dans le document. On suppose ici que cette association est avérée. La figure 6.12 montre les structures contrastives résultant de l'analyse des deux composantes. Sur la carte quatre zones semblent pertinentes : Le Nord-Est $M1$ où le phénomène est relativement faible, la Bretagne $M4$ et la partie Sud $M3$ où le phénomène est fort et la partie centrale $M2$. Dans le texte, l'auteur organise le phénomène selon deux zones Nord/Sud $T1$ et $T2$ dont la limite est floue. On suppose que l'analyse textuelle n'est pas en mesure de fournir l'exception de la Bretagne. Le système envisagé permettrait d'obtenir l'interprétation schématisée par le troisième hexagone. La relation de contraste déterminée sur la carte entre $M2$ et $M1$ est révisée en considérant qu'elles constituent en fait le groupe $T1$ du texte ($C1$). La zone sud $T2$ est identifiée à $M3$ ($C2$), précisant ainsi la limite floue du texte. L'exception de la Bretagne est conservée car elle est en relation d'uniformité avec $M3$.

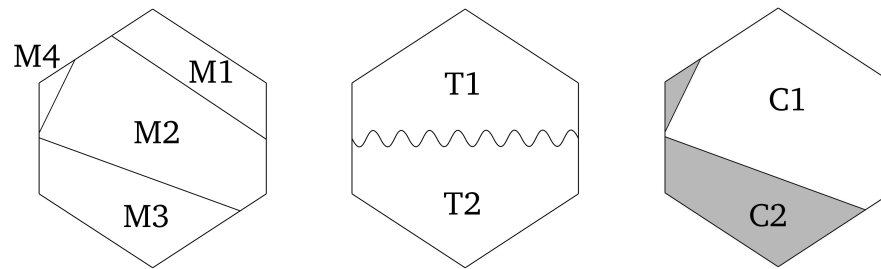


FIGURE 6.12 – Contrastes suggérés par la carte, le texte et le croisement des deux

Du point de vue de la carte, les zones $M1$, $M2$, $M3$ et $M4$ sont simplement des groupes d'unités d'informations cartographiques connexes, auxquels une valeur qualitative de force/faiblesse est attribuée. Cette valeur peut être dérivée, comme nous l'avons vu ci-dessus, d'une simplification du phénomène. Du point de vue du texte, les éléments $T1$ et $T2$ sont des entités géoréférencées telles que le système d'analyse utilisé (comme ceux présentés au premier chapitre) les modélise. Les éléments $M1$, $M2$, $M3$ issus du croisement des deux forment alors des nouvelles entités géographiques, disposant à la fois d'un aspect textuel et d'un aspect cartographique.

La mise en œuvre complète d'un tel système requiert l'utilisation d'un moteur de raisonnement spatial adéquat. Les perspectives sont intéressantes, puisqu'il permet notamment d'affiner les analyses en précisant le texte, souvent sous-spécifié, grâce au caractère exhaustif de la carte qui, en contre-partie, ne propose pas de *grille de lecture* pour son interprétation.

6.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit la mise en œuvre informatique des concepts développés dans ce travail et exprimés dans les chapitres précédents. Nous avons proposé une plate-forme permettant d'intégrer un ensemble de connaissances et de traitements autour de la carte thématique vue comme une modalité dans un document.

Cette plate-forme, programmée en Python est relativement souple et peut être enrichie aisément. Elle peut aussi être intégrée à un système d'information plus complet. Dans le cadre de la problématique générale du géographe (et notamment du cycle de l'information géographique) la plate-forme Cartex peut répondre aux trois grandes phases que sont la récupération de données, la construction d'une réponse à un questionnement et la production de nouveaux documents.

En premier lieu, elle permet de structurer le contenu des cartes issues de corpus géographiques thématiques. La souplesse du langage et de l'architecture permet, le cas échéant, de compléter la liste des modules d'analyses disponibles, afin de pouvoir traiter d'autres corpus.

Dans un deuxième temps, elle propose quelques outils d'interprétation permettant d'opérationnaliser un certain nombre de tâches de lecture sur ces cartes, et donc de faire apparaître une information géographique. Outre les outils d'interprétation intégrés, elle offre de par la modélisation utilisée, un système simple et efficace pour manipuler la structure sémantique des cartes et construire de nouveaux processus d'interprétation.

Finalement, les modélisations définies permettent de re-générer automatiquement par le package de présentation de nouvelles cartes à partir d'interprétations ou de données supplémentaires. Notons également que l'infrastructure proposée, basée sur les outils hypertexte comme HTML et SVG, permet la mise en œuvre de la notion de lien développée dans le deuxième chapitre.

Conclusion et perspectives

Bilan

Dans le premier, nous avons étudié l'information géographique, à la fois du point de vue du géographe, et de celui de l'informaticien. Nous avons montré la grande variété des concepts et des points de vue qu'englobent les termes d'« information géographique ». Nous avons vu que les outils techniques existants, notamment les systèmes d'information géographiques, sont bien adaptés à manipuler tous les aspects calculatoires et géométriques de ce type d'information. En revanche, ils ne sont pas naturellement aptes à capter et exploiter toute la portée sémantique d'une information contenue dans des documents au sens plus classique produit par le géographe et dont la construction ne s'articule pas directement autour de ces outils.

Ceci nous a amené dans un second temps à détailler cette notion de document numérique composite. Nous nous sommes attachés à montrer le parallèle qui existe entre la notion de sémantique et de liens. La sémantique existe dans les documents dès lors que l'on est capable de mettre en œuvre des liens sur ces documents. Or ces liens doivent s'ancrer dans une structure. Nous avons alors défini la notion de modalité comme modèle d'une composante, qui reflète son fonctionnement intrinsèque.

Dans un troisième temps, nous avons présenté brièvement la sémiologie graphique comme une théorie générale de la représentation visuelle de données. Nous avons voulu nous servir de ses principes comme socle pour expliciter une structuration pertinente de la carte en tant que modalité afin de pouvoir construire des liens sémantiques dans le contexte du document géographique composite.

Ceci a donné lieu à la mise au point d'un modèle de la carte thématique qui se décline en trois aspects : un aspect physique qui constitue le lien avec le support matériel du document, un aspect graphique qui décrit le contenu visuel en termes de primitives graphiques, et l'aspect logique qui organise les éléments graphiques selon un ordre permettant de rendre compte de l'expression cartographique d'un phénomène.

Enfin nous avons proposé une plate-forme exploratoire baptisée Cartex sur les principes et

les modèles développés dans ce travail. Cet outil a vocation à être étendu et enrichi.

Perspectives

Afin de proposer, à travers cette étude un tour d'horizon aussi complet que possible du sujet, un grand nombre de problématiques ont été abordées, sans avoir été poussées plus loin. En conséquence, un certains nombre de points peuvent être proposés en prolongement de ce travail.

Tout d'abord améliorer les techniques et outils permettant le traitement des documents. La reconstruction des cartes en aspects doit permettre de traiter un ensemble plus vaste de documents. Il serait intéressant aussi de pouvoir augmenter la généralité des processus d'analyse, qui sont pour le moment plutôt adaptés à un corpus spécifique.

Un autre point d'évolution possible se trouve dans les modèles proposés, qu'il conviendrait d'affiner. Nous avons vu que les formalismes proposés dans le quatrième chapitre restent relativement simples, bien qu'ils permettent de rendre compte d'un grand nombre de cas communs. Néanmoins, certains types de cartes, en particulier les cartes de flux méritent certainement une attention spécifique.

Les processus d'interprétation des phénomènes cartographiés restent eux aussi à développer et à améliorer. Nous avons donné quelques pistes dans le dernier chapitre. La question se pose par exemple de la façon dont l'utilisation des variables visuelles (notamment la couleur) influent sur la manière dont le phénomène est perçu. Cela nécessiterait une étude approfondie sur les liens entre perception visuelle et en cognition spatiale. D'une manière plus générale, ces processus d'interprétation, même s'ils restent basés sur des éléments structurels, doivent être guidés par des tâches qu'il conviendrait de préciser.

Ceci nous conduit au point d'évolution suivant. Le système développé mériterait d'être mis en application dans un cadre plus concret. Afin d'en valider les principes, il serait souhaitable de pouvoir tenter d'intégrer celui-ci dans un ensemble d'outils existants et pour des tâches particulières, exploitant notamment la possibilité de lien entre les modalités.

Finalement il serait pertinent de développer des modèles sur ces même principes pour d'autres modalités, en tentant d'opérer une convergence ou une unification dans la mesure du possible. Cela semble possible sur le document géographique avec d'autres modalités graphiques, comme les diagrammes, dont le modèle d'information sous-jacent est compatible avec celui de la carte.

Derniers mots

La théorie de l'information développée par Shannon ne répond pas à la problématique car elle considère l'information de manière très linéaire et quantifiable, dont l'image perçue en tant que signal est l'illustration. Or ce point de vue est par trop réducteur dans notre contexte, car il ne rend absolument pas compte de l'aspect communicationnel du problème, le document étant, avant d'être un signal numérique, une construction véhiculant un message. Cela induit une composante science humaine.

Le principe retenu dans cette étude est donc de considérer le document en termes de composantes caractéristiques identifiables, et répondant à une modèle bien défini. Cette approche structuraliste ou sémiotique, voire presque linguistique, est intéressante car elle offre la possibilité de traitements informatisés relativement simples. Ces traitements sont basés sur une modélisation du contenu des composantes en entités signifiantes. Ce principe s'accorde bien avec la nécessité de structuration en informatique.

Une critique qui peut être faite à ce type d'approche *structuraliste*, est qu'elles peuvent donner l'illusion de contrôler complètement le sens global du message à travers un système de code clos. Cette idée est bien entendu erronée, puisque, et c'est une de nos hypothèses, le sens n'existe pas en tant que tel dans les messages, mais il est le résultat d'une lecture d'un message, lequel n'est que la cristallisation de l'idée de l'auteur. Cependant il nous semble que ce travail évite cet écueil, car il ne prétend pas définir de modèle de contenu absolu sur le plan théorique pour ces modalités. Cette structuration répond simplement à la nécessité de disposer informatiquement d'entités par lesquelles les documents peuvent être liés.

Nous espérons que ce travail a pu contribuer à deux choses. D'abord du point de vue des sciences humaines, en particulier des géographes, permettre de présenter un point de vue d'informaticien sur leur domaine, et peut-être d'alimenter une réflexion ontologique sur leur discipline par le prisme de l'outil informatique. Ensuite du point de vue de l'informaticien, de ne pas oublier que les objets formels qu'il manipule n'ont pas de sens en eux-mêmes.

Bibliographie

- [ACD⁺98] James Allan, Jaime Carbonell, George Doddington, Jonathan Yamron, and Yiming Yang. Topic detection and tracking pilot study. In *DARPA Broadcast News Transcription and Understanding Workshop*, pages 194–218, 1998.
- [All96] James Allan. Automatic hypertext link typing. In *Hypertext 96, Washington, D.C., ACM*, pages 42–52, March 1996.
- [AQ90] Jaques André and Vincent Quint. Structures et modèles de document. In INRIA, editor, *Le document électronique*, pages 3–57, juin 1990.
- [Bal90] Jean-Pierre Balpe. *Hyperdocuments Hypertextes Hypermédias*. Eyrolles, Paris, 1990. 200 pages.
- [BB98] Antoine Bailly and Hubert Beguin. *Introduction à la géographie humaine*. Armand Colin, 1998.
- [BBFK98] Bettina Berendt, Thomas Barkowsky, Christian Freksa, and Stephanie Kelter. Spatial representation with aspect maps. *Lecture Notes in Computer Science*, 1404 :313–336, 1998.
- [BCEM03] Frédéric Bilhaut, Thierry Charnois, Patrice Enjalbert, and Yann Mathet. Passage extraction in geographical documents. In *Proceedings of New Trends in Intelligent Information Processing and Web Mining*, Zakopane, Poland, 2003.
- [Ber73] Jacques Bertin. *Sémiologie Graphique*. Mouton & Cie., 2nd edition, 1973.
- [Ber90] Mark Bernstein. An apprentice that discovers hypertext links. In *Hypertext : Concepts, systems and applications. Proceedings of the European conference on Hypertext*, pages 212–223, France, 1990. INRIA.
- [Ber00] Shai Berger. Studies on the uses and usefulness of diagrams, 2000.
- [BF97a] Antoine Bailly and Robert Ferras. *Éléments d'épistémologie de la géographie*. Armand Colin, 1997.
- [BF97b] Thomas Barkowsky and Christian Freska. Cognitive requirements on making and interpreting maps. In *Spatial information theory : A theoretical basis for GIS*, pages 347–361. S.Hirtle & A.Frank, 1997.

- [BFF⁺01] Nozha Boujemaa, Julien Fauqueur, Marin Ferecatu, François Fleuret, Valérie Gouet, Bertrand Le Saux, and Hichem Sahbi. Ikona : Interactive generic and specific image retrieval. In *International workshop on Multimedia Content-Based Indexing and Retrieval*, Rocquencourt, France, 2001.
- [BFT92] Roger Brunet, Robert Ferras, and Hervé Théry. *Les mots de la géographie, dictionnaire critique*. RECLUS - La Documentation Française, 1992. 470p.
- [BHDB⁺03] Frédéric Bilhaut, Mai Ho-Dac, Andrée Borillo, Thierry Charnois, Patrice Enjalbert, Anne Le Draoulec, Yann Mathet, Hélène Miguët, Marie-Paule Péry-Woodley, and Laure Sarda. Indexation discursive pour la navigation intradocumentaire : cadres temporels et spatiaux dans l'information géographique. In *Proceedings of Traitement Automatique du Langage Naturel (TALN)*, Batz-sur-Mer, France, 2003.
- [BL96] Jean-Pierre Balpe and Alain Lelu. *Techniques avancées pour l'hypertexte*. Hermès, Paris, 1996. 288 pages.
- [BLCL⁺94] Tim Berners-Lee, Robert Cailliau, Ari Luotonen, Henrik Frystyk Nielsen, and Arthur Secret. The world-wide web. In *Communication of the ACM*, volume 37, pages 76–82, 1994.
- [Bol91] Jay David Bolter. *Writing Space. The Computer, Hypertext, and the History of Writing*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 1991. 258 pages.
- [Bru80] Roger Brunet. La composition des modèles en analyse spatiale. *L'espace géographique*, 9 :253–265, 1980.
- [Bru86] Roger Brunet. La carte-modèle et les chorèmes. *Mappemonde*, 4 :2–6, 1986.
- [BS91] François Berdoulay and Olivier Soubeyran. Lamarck, darwin et vidal :aux fondements naturalistes de la géographie. *Annales de géographie*, 100(561-562) :617–634, 1991.
- [BS99] Andrew P. Berman and Linda G. Shapiro. A flexible image database system for content-based retrieval. *Computer Vision and Image Understanding*, 75(1-2) :175–195, 1999.
- [BT92] Abdel Belaïd and Karl Tombre. Analyse de documents : de l'image à la sémantique. In *Actes de CNED'92*, pages 3–29, 1992.
- [Bus45] Vannevar Bush. As we may think. *The Atlantic Unbound*, 7 1945.
- [Car00] Jean Carrière. Le paradigme de la communication cartographique : la hierarchisation du "moi" et du "ici". In XYZ, editor, *Les ancrages du corps propre*, pages 87–110. Nycole Paquin, 2000.
- [CBGM02] Chad Carson, Serge Belongie, Hayit Greenspan, and Jitendra Malik. Blobworld : Color and texture based image segmentation using em and its application to image querying and classification. In *PAMI*, volume 24, pages 1026–1038, 2002.
- [CH01] Anthony G. Cohn and Shyamanta M. Hazarika. Qualitative spatial representation and reasoning : An overview. *Fundamenta Informaticae*, 46(1-2) :1–29, 2001.

-
- [Chr01] Anne-Marie Christin. *Histoire de l'écriture*, chapter De l'image à l'écriture. Flammarion, 2001.
- [Chr02] Anne-Marie Christin. *Encyclopædia Universalis*, volume 7, chapter Écriture – L'idéogramme et l'alphabet, pages 836–841. Encyclopædia Universalis, Paris, 2002.
- [Cla98] Paul Claval. *Histoire de la géographie française de 1870 à nos jours*. Nathan Université, 1998.
- [DeR99] Steven J. DeRose. Xml linking. Technical report, ACM Computing Surveys, 1999.
- [DG76] Gilles Deleuze and Félix Guattari. *Rhizome : introduction*. Les éditions de minuit, Paris, 1976. 74p.
- [Did90] Michel Didier. *Utilité et valeur de l'information géographique*. Economica, Paris, 1990.
- [dS02] Ferdinand de Saussure. *Écrits de linguistique générale*. Gallimard, Paris, 2002.
- [DS04] Jean Denègre and François Salgé. *Les systèmes d'information géographique*. Presse Universitaire de France, 2004.
- [Dup95] Gérard Dupoirier. *Technologie de la GED : Techniques et management des documents électronique*. HERMES, 1995. 302 pages.
- [DV00] Michel Dubois and Isolde Vial. Multimedia design : the effects of relating multimodal information. *Journal of Computer Assisted Learning*, 16(2) :157–165, juin 2000.
- [Eak96] John P. Eakins. Automatic image content retrieval : are we getting anywhere? In *Proceedings of Third International Conference on Electronic Library and Visual Information Research (ELVIRA3)*, pages 123–135, 1996.
- [Eak01] John P. Eakins. *Lecture notes on Information Retrieval*, chapter Retrieval of still images by content, pages 111–138. Springer, 2001.
- [EM95] Max Egenhofer and David Mark. Naive geography. In *Spatial Information Theory*, pages 1–15, 1995.
- [Enc87] Grand Dictionnaire Encyclopédique, editor. *Grand Larousse Universel*, volume 7. Larousse, 1987.
- [Enj96] Patrice Enjalbert. De l'interprétation (sens, structure et processus). *Intellectica*, 2(23) :79–120, 1996.
- [Eur85] European Computer Manufacturers Association, Genève. *Standard ECMA-101 Office Document Architecture*, septembre 1985.
- [FBF+96] Christos Faloutsos, Ron Barber, Myron Flickner, Jim Hafner, Wayne Niblack, Dragutin Petkovic, and William Equitz. Efficient and effective querying by image content. *Journal of Artificial Intelligence*, 3(3-4) :231–262, 1996.
- [Fra96] Andrew U. Franck. The prevalence of objects with sharp boundaries in gis, 1996.
- [Gai01] Mauro Gaio. *Traitements de l'information géographique : représentations et structures*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Caen, France, 2001.

- [Geo02] Pierre George. *Encyclopædia Universalis*, volume 10, chapter Géographie – Une science à part entière ? Un guide de l'action territoriale, pages 206–208. Encyclopædia Universalis, Paris, 2002.
- [Glu89] Robert J. Glushko. Design issues for multi-document hypertexts. In *Hypertext '89 Proceedings*, pages 51–60, 1989.
- [Gol81] Charles F. Goldfarb. A generalized approach to document markup. In *ACM SIG-PLAN Notices*, volume 16, pages 68–73, 1981.
- [GR95] Venkat N. Gudivada and Vijay V. Raghavan. Content-based image retrieval systems. *IEEE Computer*, 28(9) :18–22, 1995.
- [GV04] Pierre George and Fernand Verger, editors. *Dictionnaire de la géographie*. Quadrigue Presse Universitaire de France, 8 edition, 2004.
- [Hil00] Linda L. Hill. Core elements of digital gazetteers : Placenames, categories, and footprints. In *ECDL '00 : Proceedings of the 4th European Conference on Research and Advanced Technology for Digital Libraries*, pages 280–290, London, UK, 2000. Springer-Verlag.
- [Hje66] Louis Hjelmslev. *Le langage*. Les éditions de minuit, 1966. Traduit du danois.
- [IDF⁺05] Giridharan Iyengar, Pinar Duygulu, Shaolei Feng, Pavel Irving, Sanjeev Khundampur, Dietrich Klakow, Matthew Krause, R. Manmattha, Harriet J. Nock, Desislava Petkova, Brock Pytlik, and Paola Virga. Joint visual-text modeling for automatic retrieval of multimedia documents. In *Proceedings of the 13th ACM Multimedia Conference*, Singapore, 2005.
- [Kat92] T. Kato. Database architecture for content-based image retrieval. In *Image storage and retrieval systems*, pages 112–123. SPIE Proceedings, 1992.
- [KLM⁺97] Gregor Kiczales, John Lamping, Anurag Mendhekar, Chris Maeda, Cristina Lopes, Jean-Marc Loingtier, and John Irwin. Aspect-oriented programming. In *Proceedings of the European Conference on Object-Oriented Programming*, volume 1241, pages 220–224, 1997.
- [Lib62] André Libault. *La cartographie*. Presses Universitaires de France, 1962.
- [LP01] Frédérique Loew-Pellen. *Vieillir en bord de mer, conséquences des migrations de retraités le long des littoraux transmanche. Étude comparative France/Angleterre*. PhD thesis, Université de Caen, Espaces et SOciétés - UMR 6590, 2001.
- [LPHW95] Ray R. Larson, Christian Plaunt, Marti A. Hearst, and Allison Gyle Woodruff. The sequoia 2000 electronic repository. *Digital Technical Journal*, 7(3) :50–65, 1995.
- [LPTM01] Frédérique Loew-Pellen, Christophe Turbout, and Jacques Madelaine. Un entrepôt de données adapté aux besoins des utilisateurs : développement à parti de l'atlas transmanche. Technical report, Comité Régional pour l'Image et les Technologies de l'Information et de la Communication, Caen, France, 2001.

-
- [LS02] Gilles Lebrun and Hakim Settache. *Projet de dea - intelligence artificielle et algorithmique*. Technical report, Université de Caen, Caen, France, 2002.
- [Luc05] Nadine Lucas. *La relation entre carte et texte dans un corpus géographique : une absence de deixis en discours*. Technical report, Université de Caen, France, 2005.
- [Mal00] Nicolas Malandain. *La Relation Texte/Image, Essai de Modélisation dans un Corpus Géographique*. PhD thesis, Université de Caen, 2000.
- [Mar82] David Marr. *Vision*. Freeman Publishers, 1982.
- [MG99] Nicolas Malandain and Mauro Gaio. Extraction d'unités d'information géographiques dans des documents composites. In Europa Productions, editor, *Document Electronique Dynamique, CIDE 99*, 1999.
- [MGM01] Nicolas Malandain, Mauro Gaio, and Jacques Madelaine. Improving retrieval effectiveness by automatically creating some multiscaled links between text and pictures. In *Proceedings of SPIE, Document Recognition and Retrieval VIII*, volume 4307, pages 89–99, San Jose, Californie, USA, 24-25 Janvier 2001.
- [Mol86] Abraham A. Moles. *Théorie structurale de la communication et société*. Masson, 1986.
- [Mol92] Abraham Moles. *Encyclopédie de la géographie*, chapter Vers une psycho-géographie. Economica, 1992.
- [Mon02] Daniel R. Montello. Cognitive map-design research in the twentieth century : Theoretical and empirical approaches. *Cartography and Geographic Information Science*, 29(3) :283–304, July 2002.
- [MR92] Lorenza Mondada and Jean-Bernard Racine. *Encyclopédie de la géographie*, chapter Géographie et sémio-linguistique. Economica, 1992.
- [MT88] William C. Mann and Sandra A. Thompson. Rhetorical structure theory : Toward a functional theory of text organization. *Text*, 8(3) :243–281, 1988.
- [MÉR72] Abraham A. Moles and Élisabeth Rohmer. *Psychologie de l'espace*. Casterman, 1972.
- [NC96] L. Nigay and J. Coutaz. Espace de conception des interfaces multimédias et multimodales. *Revue TSI - Numéro Spécial Multimedia et Collecticiel*, 15(9), 1996. Hermès.
- [Nig96] L. Nigay. *Modalité d'interaction et multimodalité*. Habilitation à diriger des recherches, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, 1996.
- [NJ07] Eric Nowak and Frédéric Jurie. Learning visual similarity measures for comparing never seen objects. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2007.
- [NK91] James M. Nyce and Paul Kahn. *From MEMEX to Hypertext : Vannevar Bush and the mind's machine*, chapter A machine for the mind : vannevar bush's MEMEX, pages 39–66. Academic Peess, Boston, 1991.

- [Par91] H. Van Dyke Parunak. *Hypertext/Hypermedia Handbook*, chapter Ordering the information graph, pages 299–325. McGraw-Hill Publishing Company, 1991.
- [Pau94] Jean-Pierre Paulet. *La Carte et le Document*. Eyrolles, 1994.
- [Pin92] Philippe Pinchemel. *Encyclopédie de la géographie*, chapter L’aventure géographique de la terre. Economica, 1992.
- [Pin02] Philippe Pinchemel. *Encyclopædia Universalis*, volume 10, chapter L’histoire de la géographie – Évolution chronologique, pages 203–206. Encyclopædia Universalis, Paris, 2002.
- [Pra93] Ian Pratt. Map semantics. In Andrew Frank and Irene Campari, editors, *Spatial Information Theory : A Theoretical Basis for GIS*, volume 716. Springer-Verlag, Berlin, 1993.
- [Péd03] Roger T. Pédaque. Document : forme, signe et médium, les re-formulations du numérique. Technical report, STIC-CNRS, 2003.
- [Rad00] Dragomir R. Radev. A common theory of information fusion from multiple text sources. step one : cross-document structure. In *1st ACL SIGDIAL Workshop on Discourse and Dialogue*, Honk Kong, 2000.
- [RHOM98] Yong Rui, Thomas S. Huang, Michael Ortega, and Sharad Mehrotra. Relevance feedback : a power tool in interactive content-based image retrieval. *IEEE Transactions on Circ. Sys. Video Tech*, septembre 1998.
- [Rob85] Arthur H. Robinson. *The look of maps : an examination of cartographic design*. The University of Wisconsin, Madison, 2nd edition, 1985.
- [Rob92] Marie-Claire Robic. *Encyclopédie de la géographie*, chapter Epistémologie de la géographie. Economica, 1992.
- [Sal71] Gerald Salton. *The SMART retrieval system*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs ; NJ, 1971.
- [Sal01] Frank Salomon. How an andean "writing without words" works. *Current Anthropology*, 42(1) :1–27, 2001.
- [SB94] Rohini K. Srihari and Debra T. Burhans. Visual semantics : Extracting visual information from text accompanying pictures. In *National Conference on Artificial Intelligence*, pages 793–798, 1994.
- [Smi97] Steven W. Smith. *The Scientist and Engineer’s Guide to Digital Signal Processing*. California Technical Publishing, 1997.
- [SRH⁺00] Rohini K. Srihari, Aibing Rao, Benjamin Han, Srikanth Munirathnam, and Xiaoyun Wu. A model for multimodal information retrieval. In *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (II)*, pages 701–704, 2000.
- [Sri94] Rohini K. Srihari. Use of captions and other collateral text in understanding photographs. *Artificial Intelligence Review*, 8(5-6) :409–430, 1994.

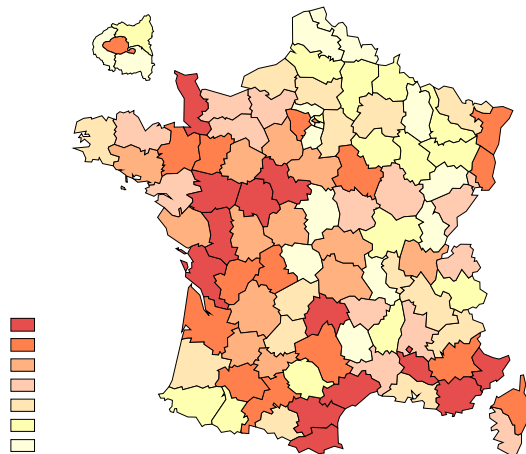
-
- [SS96] Hanan Samet and Aya Soffer. MARCO : MAP retrieval by Content. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 18(8) :783–798, 1996.
- [SS98] Hanan Samet and Aya Soffer. MAGELLAN : Map acquisition of GEographic labels by legend ANalysis. *IJDAR*, 1(2) :89–101, 1998.
- [SSMB97] Gerald Salton, Amit Singhal, Mandar Mitra, and Chris Buckley. Automatic text structuring and summarization. *Information Processing and Management*, 33(2) :193–207, 1997.
- [SW49] Claude Elwood Shannon and Warren Weaver. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, 1949.
- [SWS⁺00] Arnold W. M. Smeulders, Marcel Worring, Simone Santini, Amarnath Gupta, and Ramesh Jain. Content-based image retrieval at the end of the early years, december 2000.
- [SZR00] Rohini K. Srihari, Zhongfei Zhang, and Aibing Rao. Intelligent indexing and semantic retrieval of multimodal documents. *Information Retrieval*, 2(2/3) :245–275, 2000.
- [TFMB04] Alain Trémeau, Christine Fernandez-Maloigne, and Pierre Bonton. *Image numérique couleur - De l'acquisition au traitement*. Dunod, 2004.
- [Tom98] Karl Tombre. Ten years of research in the analysis of graphics documents : Achievements and open problems. In *Proceedings of 10th Portuguese Conference on Pattern Recognition*, pages 11–17, march 1998.
- [Tri83] Randall Trigg. *A Network-Based Approach to Text Handling for the Online Scientific Community*. PhD thesis, University of Maryland, 1983.
- [Tur02] Christophe Turbout. *Construction d'hypertexte et recherche d'informations hétérogènes : la spécificité de l'information géographique*. PhD thesis, Université de Caen, GREYC, UMR CNRS 6072, 2002.
- [TW87] Randall Trigg and Mark Weiser. Textnet : A network-based approach to text handling. In *ACM Transactions on Office Information Systems*, volume 4, pages 1–23, 1987.
- [Van99] Christian Vandendorpe. *Du papyrus à l'hypertexte. Essai sur les mutations du texte et de la lecture*. La Découverte, Paris, 1999.
- [Van01] Christian Vandendorpe. L'hypertexte et l'avenir de la mémoire. *Le Débat*, (115) :145–155, mai-août 2001.
- [VP98] Adam Vile and Simon Polovina. Thinking *of* or thinking *through* diagrams? the case of conceptual graph. In *Thinking with Diagrams '98*, 1998.
- [VSvdB02] Vuurpilj, Schomaker, and van den Broek. Vind(x) : Using the user through cooperative annotation. In *Proceedings of the Eight IEEE Internatioan Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition*, pages 221–226, Ontario, Canada, 2002.

- [WFB04] Antoine Widlöcher, Eric Faurot, and Frédérick Bilhaut. Multimodal indexation of contrastive structures in geographical documents. In *In Proceedings of RIAO : Coupling approaches, coupling media and coupling languages for information retrieval*, pages 555–570, Université d’Avignon, 2004.
- [WM99] Norman Walsh and Leonard Muellner. *DocBook : the definitive guide*. O’reilly, octobre 1999.
- [WP94] Allison Gyle Woodruff and Christian Plaunt. Gipsy : Automated geographic indexing of text documents. *Journal of the American Society of Information Science*, 45(9) :645–655, 1994.

Annexe A

Résultats de l'expérimentation

Cette annexe présente l'ensemble des cartes proposées dans le cadre de l'expérience décrite au chapitre 5, ainsi qu'une synthèse des réponses obtenues. Pour chacune des cartes, cinq tableaux sont donnés. Le premier tableau indique respectivement le temps de réponse (en seconde) minimum du sujet à l'ensemble des quatre questions, le temps maximum, le temps moyen et l'écart-type. Les quatre tableaux suivants présentent la répartition des réponses à chaque question pour la carte considérée. Pour chacune des réponses, le nombre indique le pourcentage des sujets l'ayant retenue. Le nombre en caractères gras indique la réponse la plus fréquemment donnée.



Carte 1

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
43.61	107.35	67.11	19.02

Répartition

épars	polarisé	-
53.8	38.5	7.7

Orientation

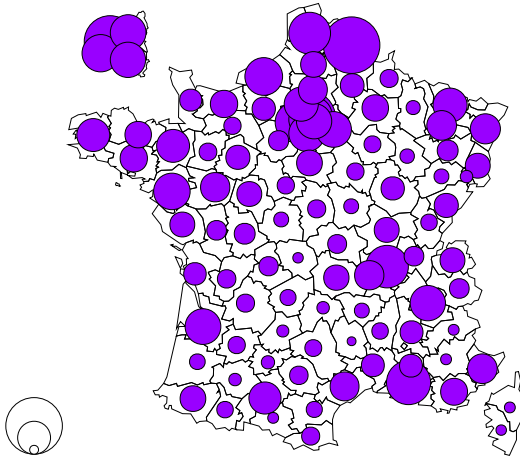
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
23.1	23.1	38.5	0.0	0.0	15.4

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
15.4	69.2	15.4	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
69.2	23.1	0.0	7.7	0.0



Carte 2

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
21.60	59.16	37.53	11.54

Répartition

épars	polarisé	-
30.8	69.2	0.0

Orientation

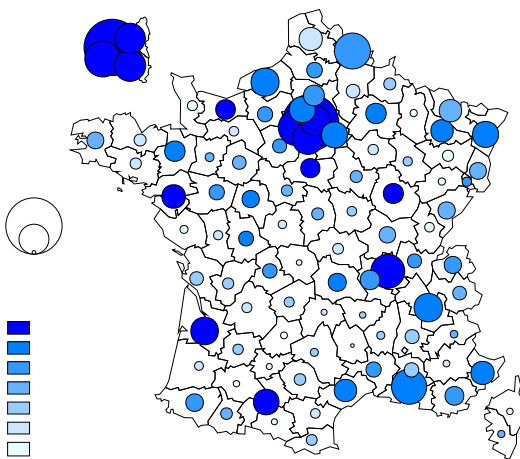
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
38.5	0.0	7.7	7.7	38.5	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
30.8	46.2	15.4	7.7	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
23.1	61.5	0.0	15.4	0.0



Carte 3

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
19.47	65.63	35.21	15.20

Répartition

épars	polarisé	-
38.5	46.2	15.4

Orientation

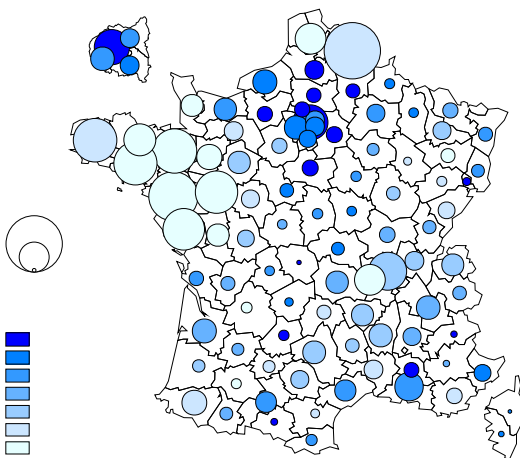
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
15.4	0.0	0.0	0.0	38.5	46.2

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
69.2	15.4	15.4	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
69.2	0.0	7.7	7.7	15.4



Carte 4

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
20.69	64.35	35.82	12.58

Répartition

épars	polarisé	-
53.8	30.8	15.4

Orientation

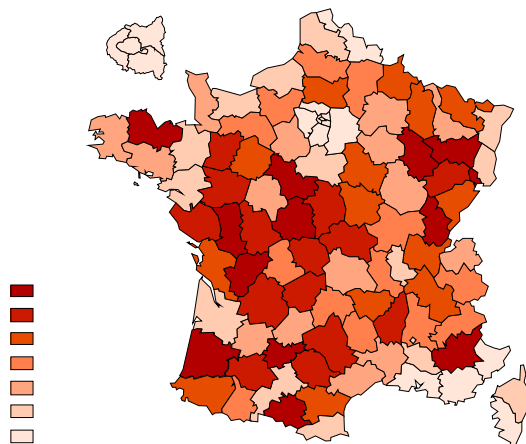
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
23.1	7.7	38.5	0.0	23.1	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
15.4	38.5	30.8	15.4	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
46.2	53.8	0.0	0.0	0.0



Carte 5

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
18.69	56.36	32.69	9.99

Répartition

épars	polarisé	-
53.8	46.2	0.0

Orientation

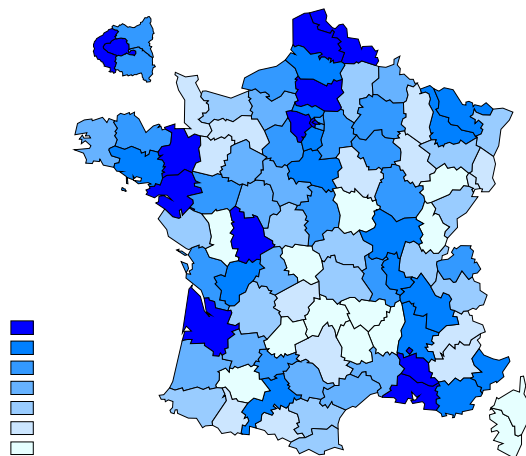
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	15.4	0.0	7.7	53.8	15.4

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
30.8	23.1	23.1	23.1	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
7.7	38.5	7.7	7.7	38.5



Carte 6

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
10.84	57.93	28.39	11.90

Répartition

épars	polarisé	-
76.9	15.4	7.7

Orientation

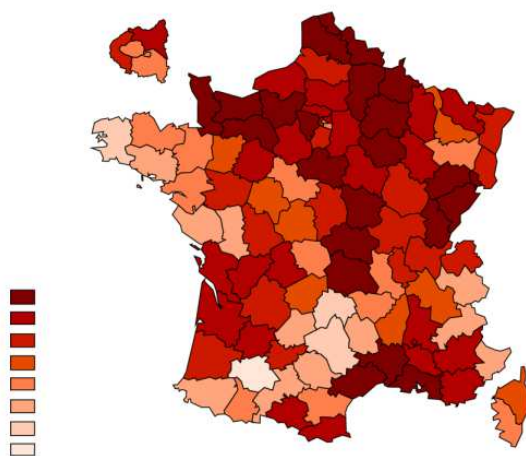
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
15.4	0.0	23.1	0.0	46.2	15.4

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
7.7	30.8	38.5	15.4	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
0.0	38.5	23.1	0.0	38.5



Carte 7

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
20.26	71.91	30.73	12.68

Répartition

épars	polarisé	-
30.8	69.2	0.0

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
53.8	7.7	7.7	7.7	23.1	0.0

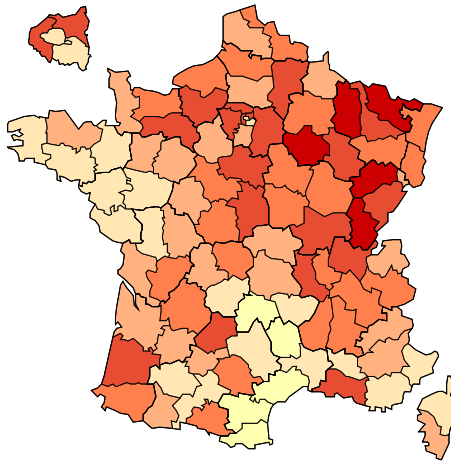
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
30.8	53.8	15.4	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
61.5	0.0	23.1	15.4	0.0

Carte 8



t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
19.66	45.81	28.43	7.65

Répartition

épars	polarisé	-
30.8	61.5	7.7

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	30.8	7.7	46.2	0.0	15.4

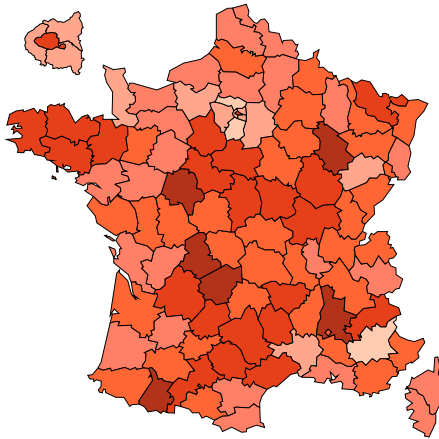
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
15.4	7.7	46.2	30.8	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
53.8	30.8	0.0	0.0	15.4

Carte 9



t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
10.58	36.74	24.31	7.47

Répartition

épars	polarisé	-
69.2	30.8	0.0

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	7.7	0.0	0.0	53.8	30.8

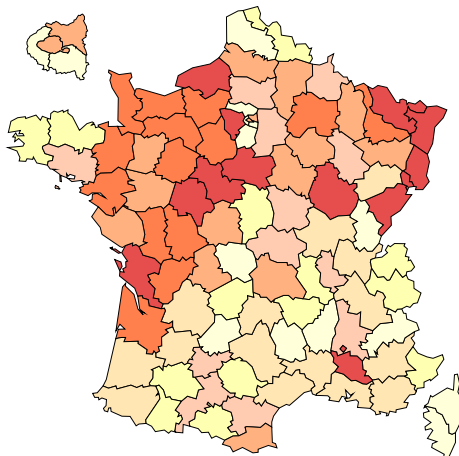
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
0.0	23.1	53.8	15.4	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
15.4	7.7	7.7	23.1	46.2

Carte 10



t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
13.31	33.03	21.49	5.97

Répartition

épars	polarisé	-
46.2	46.2	7.7

Orientation

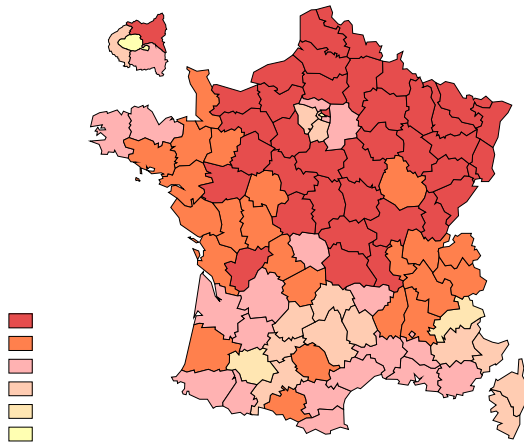
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
46.2	38.5	7.7	0.0	0.0	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
15.4	69.2	0.0	15.4	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
69.2	23.1	7.7	0.0	0.0



Carte 11

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
10.91	32.16	20.43	6.40

Répartition

épars	polarisé	-
23.1	69.2	7.7

Orientation

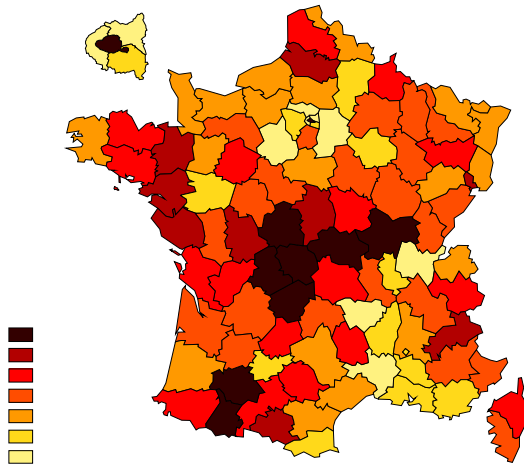
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
53.8	7.7	7.7	30.8	0.0	0.0

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
61.5	30.8	7.7	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
61.5	30.8	0.0	0.0	7.7



Carte 12

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
14.13	56.13	27.02	9.93

Répartition

épars	polarisé	-
46.2	53.8	0.0

Orientation

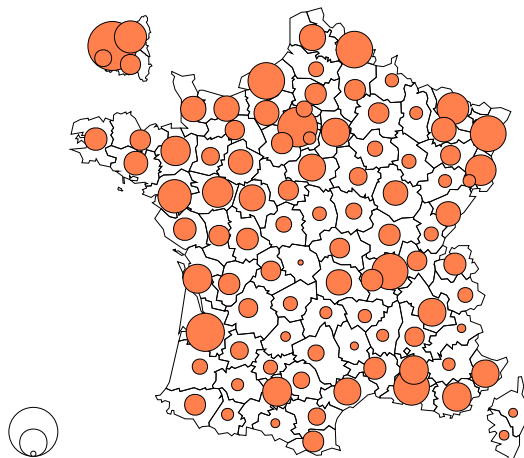
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	0.0	7.7	7.7	46.2	38.5

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
76.9	15.4	7.7	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
53.8	15.4	15.4	0.0	15.4



Carte 13

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
10.11	36.29	22.78	8.38

Répartition

épars	polarisé	-
53.8	23.1	23.1

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	0.0	15.4	0.0	23.1	61.5

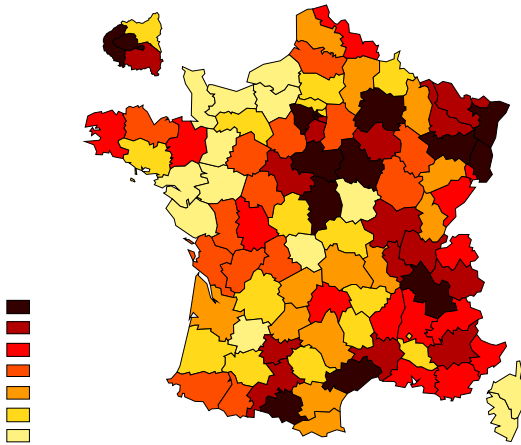
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
7.7	0.0	15.4	46.2	30.8

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	0.0	0.0	7.7	53.8

Carte 14



t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
16.41	36.12	25.10	6.44

Répartition

épars	polarisé	-
69.2	30.8	0.0

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	38.5	0.0	30.8	7.7	15.4

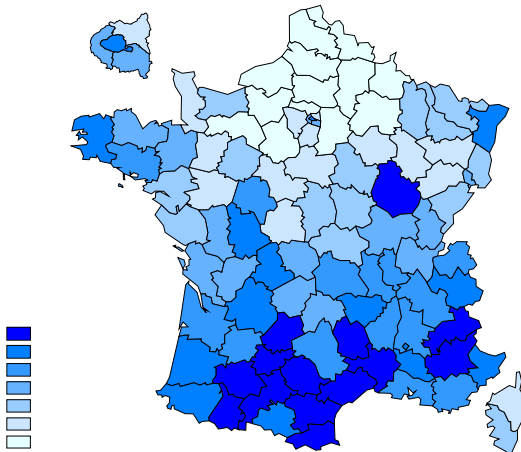
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
23.1	46.2	30.8	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
23.1	46.2	0.0	23.1	7.7

Carte 15



t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
0.25	34.80	16.57	8.14

Répartition

épars	polarisé	-
30.8	69.2	0.0

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
76.9	0.0	0.0	0.0	7.7	15.4

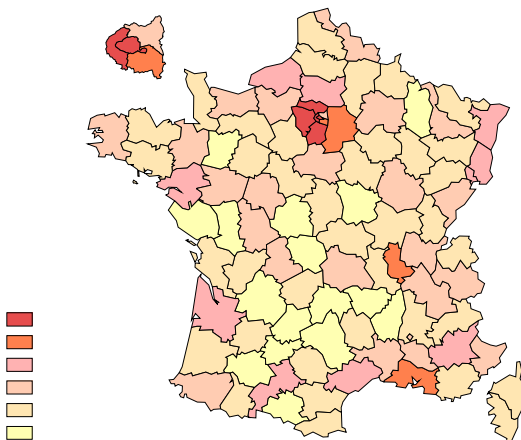
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
53.8	38.5	0.0	7.7	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	61.5	0.0	0.0	0.0

Carte 16



t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
12.65	37.80	21.65	7.78

Répartition

épars	polarisé	-
15.4	76.9	7.7

Orientation

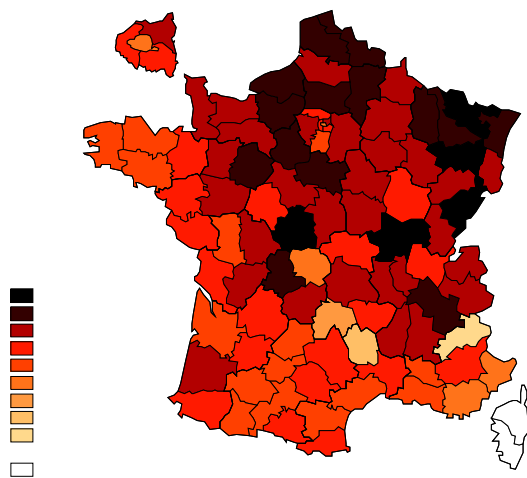
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	0.0	0.0	0.0	30.8	61.5

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
30.8	7.7	38.5	7.7	15.4

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
46.2	30.8	0.0	7.7	15.4



Carte 17

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
13.03	33.92	21.84	6.23

Répartition

épars	polarisé	-
30.8	61.5	7.7

Orientation

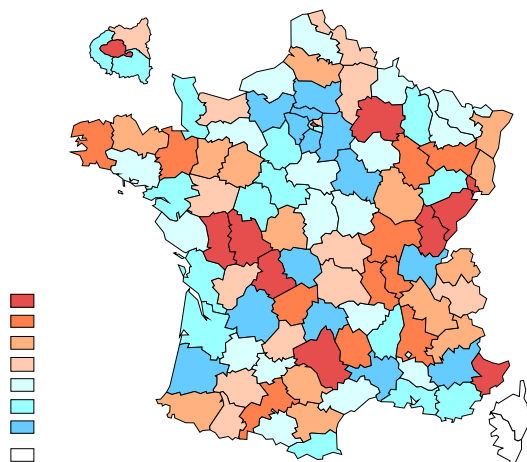
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
46.2	7.7	7.7	38.5	0.0	0.0

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
61.5	30.8	7.7	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	53.8	0.0	7.7	0.0



Carte 18

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
12.62	31.39	20.35	4.58

Répartition

épars	polarisé	-
69.2	30.8	0.0

Orientation

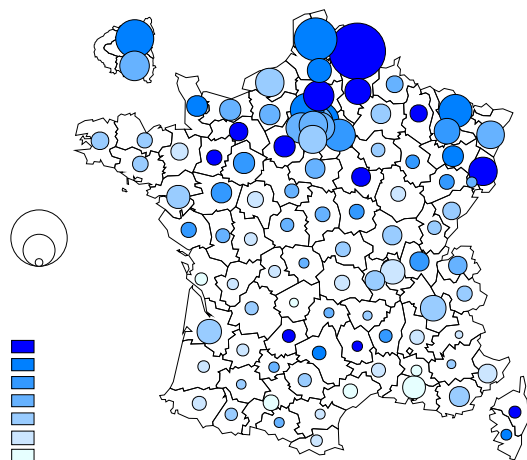
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	7.7	0.0	0.0	23.1	69.2

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
0.0	23.1	30.8	15.4	30.8

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
7.7	15.4	23.1	15.4	38.5



Carte 19

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
10.23	22.75	15.76	3.68

Répartition

épars	polarisé	-
23.1	76.9	0.0

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
76.9	0.0	0.0	7.7	7.7	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
46.2	30.8	15.4	7.7	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
84.6	7.7	7.7	0.0	0.0

Carte 20

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
9.82	75.61	21.62	16.95

Répartition

épars	polarisé	-
38.5	61.5	0.0

Orientation

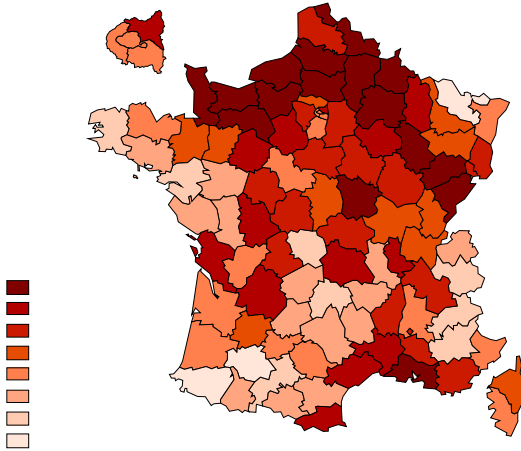
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
76.9	0.0	7.7	7.7	0.0	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
23.1	69.2	7.7	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
15.4	76.9	0.0	0.0	7.7



Carte 21

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
10.20	40.48	20.82	8.38

Répartition

épars	polarisé	-
69.2	30.8	0.0

Orientation

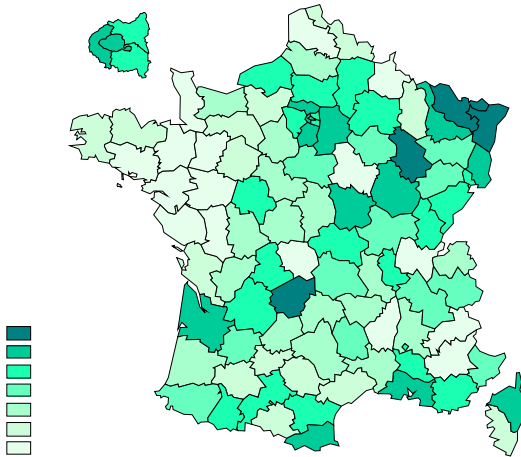
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	23.1	7.7	15.4	23.1	30.8

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
0.0	38.5	15.4	30.8	15.4

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
46.2	23.1	7.7	0.0	23.1



Carte 22

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
14.29	63.61	27.18	12.08

Répartition

épars	polarisé	-
53.8	30.8	15.4

Orientation

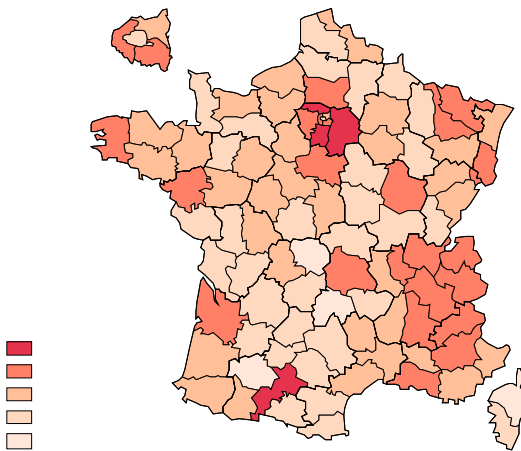
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	15.4	30.8	0.0	15.4	30.8

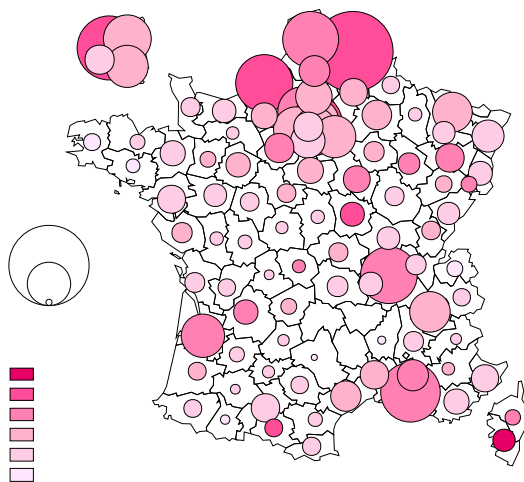
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
0.0	38.5	46.2	15.4	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	46.2	0.0	0.0	15.4





Carte 23

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
13.98	41.36	24.95	9.26

Répartition

épars	polarisé	-
30.8	69.2	0.0

Orientation

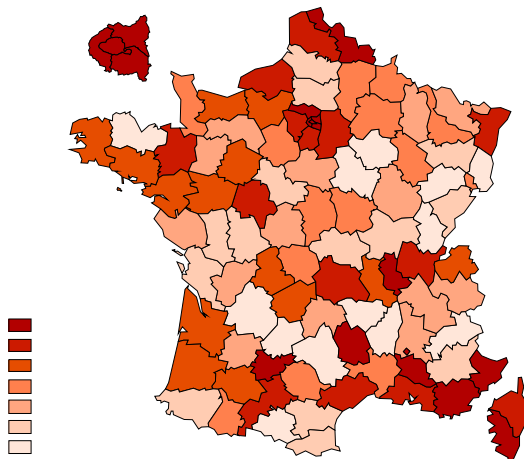
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
53.8	7.7	7.7	7.7	15.4	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
61.5	30.8	0.0	7.7	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
15.4	61.5	15.4	7.7	0.0



Carte 24

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
7.87	31.16	20.26	6.74

Répartition

épars	polarisé	-
84.6	0.0	15.4

Orientation

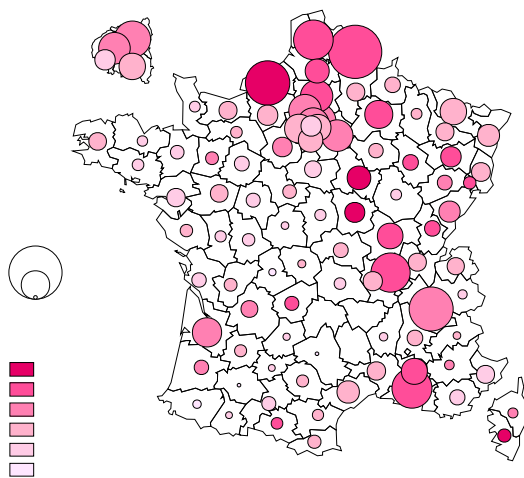
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	0.0	7.7	7.7	46.2	30.8

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
15.4	30.8	30.8	15.4	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
0.0	46.2	15.4	23.1	15.4



Carte 25

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
14.48	39.59	23.48	6.09

Répartition

épars	polarisé	-
15.4	84.6	0.0

Orientation

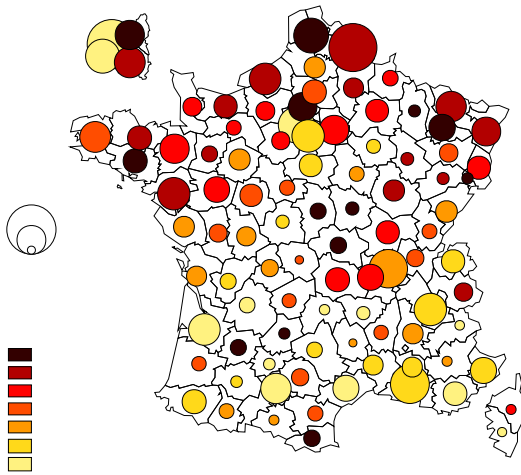
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
23.1	30.8	7.7	0.0	7.7	30.8

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
30.8	46.2	7.7	15.4	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
46.2	38.5	7.7	7.7	0.0



Carte 26

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
9.32	39.67	23.46	8.43

Répartition

épars	polarisé	-
61.5	38.5	0.0

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
46.2	0.0	7.7	0.0	23.1	23.1

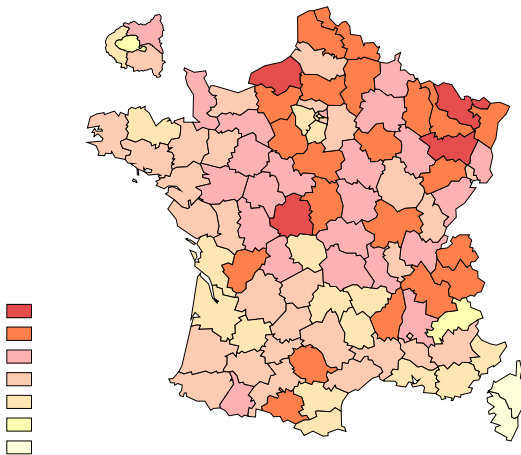
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
23.1	30.8	15.4	23.1	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
53.8	7.7	7.7	15.4	15.4

Carte 27



t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
12.70	39.80	22.66	8.32

Répartition

épars	polarisé	-
46.2	38.5	15.4

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	23.1	7.7	38.5	7.7	15.4

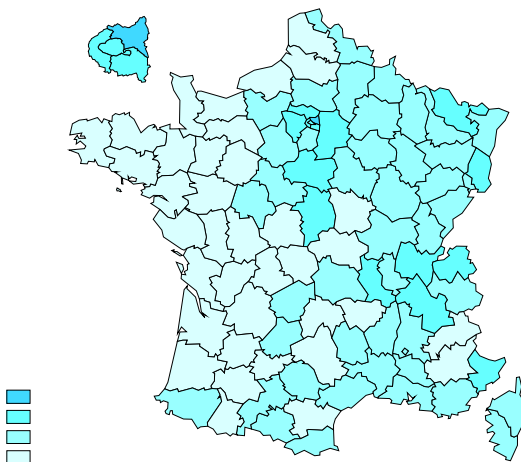
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
7.7	53.8	15.4	15.4	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	38.5	0.0	15.4	7.7

Carte 28



t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
11.15	30.04	17.43	5.26

Répartition

épars	polarisé	-
38.5	46.2	15.4

Orientation

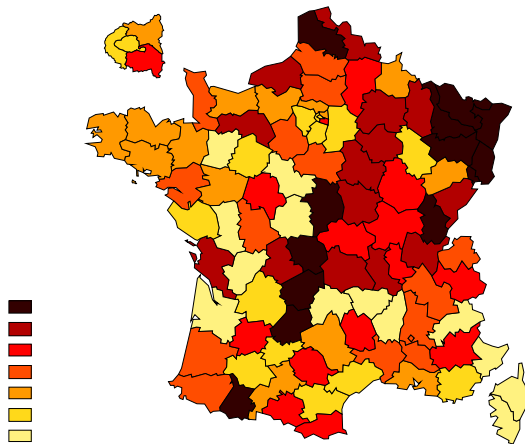
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	53.8	0.0	23.1	7.7	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
7.7	23.1	15.4	53.8	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
84.6	0.0	0.0	0.0	15.4



Carte 29

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
14.40	30.86	21.78	5.48

Répartition

épars	polarisé	-
61.5	30.8	7.7

Orientation

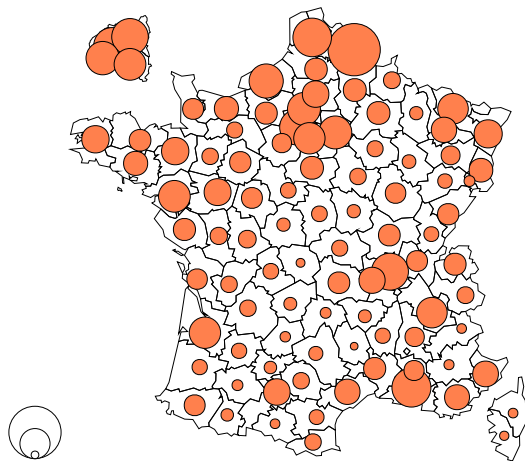
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	30.8	23.1	7.7	23.1	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
30.8	53.8	0.0	7.7	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
15.4	38.5	15.4	23.1	7.7



Carte 30

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
11.69	38.73	18.76	7.07

Répartition

épars	polarisé	-
38.5	61.5	0.0

Orientation

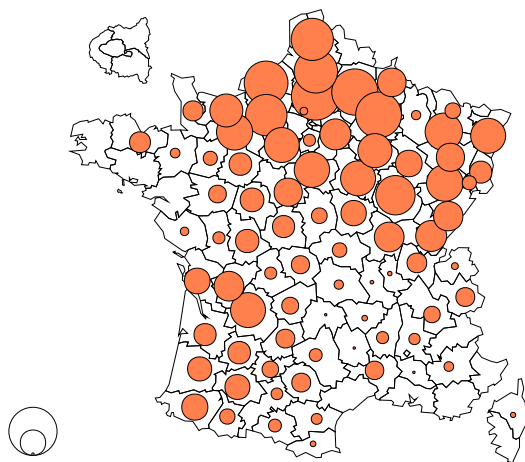
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
61.5	0.0	7.7	7.7	23.1	0.0

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
15.4	38.5	30.8	7.7	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
53.8	30.8	0.0	0.0	15.4



Carte 31

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
13.52	42.39	21.28	8.60

Répartition

épars	polarisé	-
15.4	84.6	0.0

Orientation

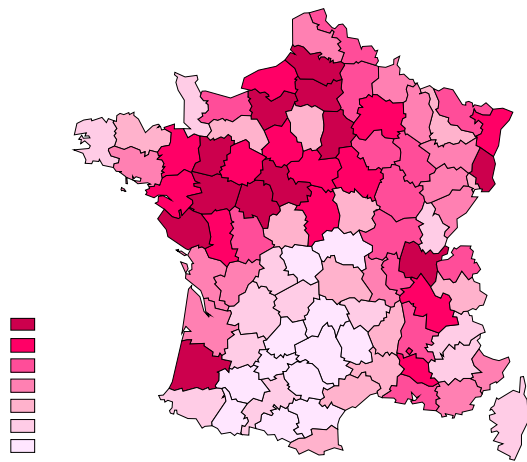
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
30.8	0.0	7.7	53.8	7.7	0.0

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
46.2	38.5	7.7	7.7	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	46.2	7.7	0.0	7.7



Carte 32

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
9.09	33.46	19.20	7.15

Répartition

épars	polarisé	-
15.4	84.6	0.0

Orientation

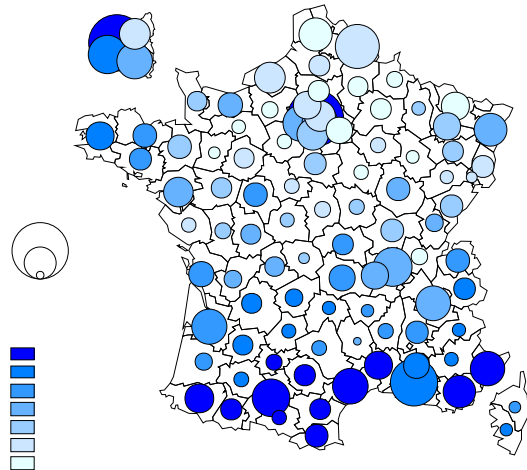
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
38.5	15.4	30.8	7.7	7.7	0.0

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
38.5	53.8	7.7	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
30.8	38.5	23.1	0.0	7.7



Carte 33

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
12.11	21.97	16.95	2.96

Répartition

épars	polarisé	-
46.2	46.2	7.7

Orientation

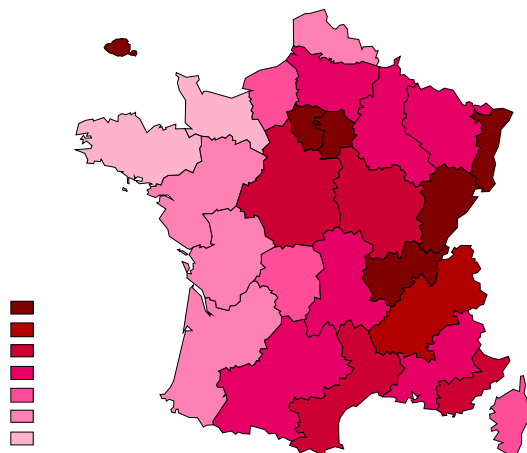
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
84.6	0.0	0.0	7.7	7.7	0.0

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
7.7	69.2	15.4	7.7	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	38.5	15.4	7.7	0.0



Carte 34

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
12.53	38.64	19.31	6.60

Répartition

épars	polarisé	-
30.8	69.2	0.0

Orientation

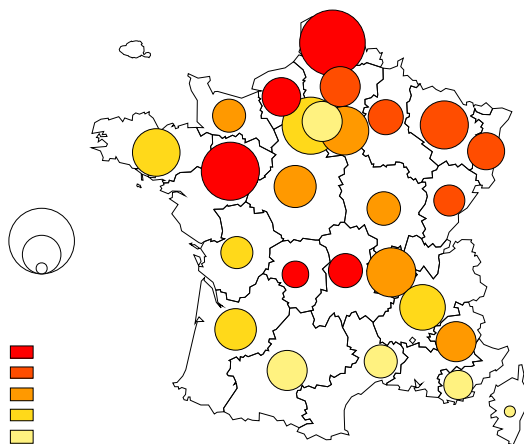
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	69.2	7.7	7.7	0.0	15.4

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
61.5	23.1	7.7	7.7	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
53.8	38.5	7.7	0.0	0.0



Carte 35

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
13.30	27.10	18.32	4.08

Répartition

épars	polarisé	-
30.8	69.2	0.0

Orientation

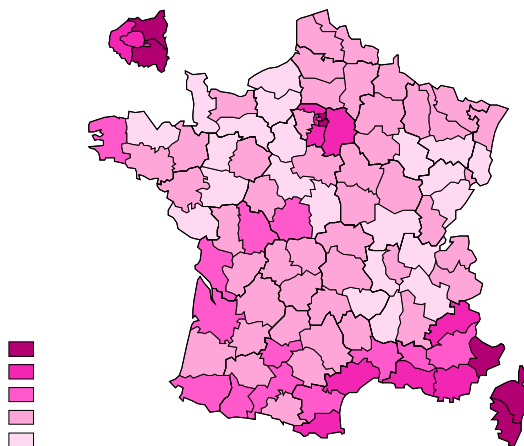
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
61.5	0.0	0.0	7.7	23.1	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
7.7	30.8	38.5	7.7	15.4

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
53.8	15.4	15.4	0.0	15.4



Carte 36

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
13.60	29.42	16.91	4.10

Répartition

épars	polarisé	-
69.2	23.1	7.7

Orientation

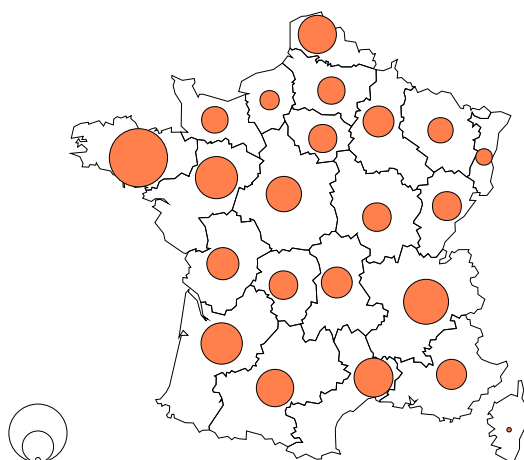
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
53.8	0.0	0.0	0.0	38.5	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
23.1	30.8	30.8	15.4	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
15.4	30.8	15.4	15.4	23.1



Carte 37

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
9.64	31.61	16.23	5.60

Répartition

épars	polarisé	-
69.2	30.8	0.0

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	7.7	15.4	0.0	46.2	30.8

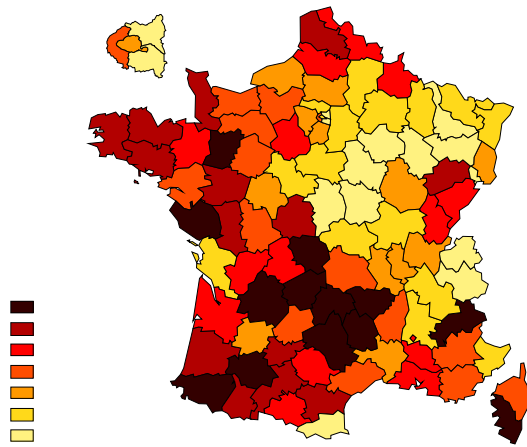
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
7.7	0.0	38.5	23.1	30.8

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
30.8	7.7	0.0	0.0	61.5

Carte 38



t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
8.93	30.03	17.39	5.78

Répartition

épars	polarisé	-
15.4	84.6	0.0

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	38.5	30.8	23.1	7.7	0.0

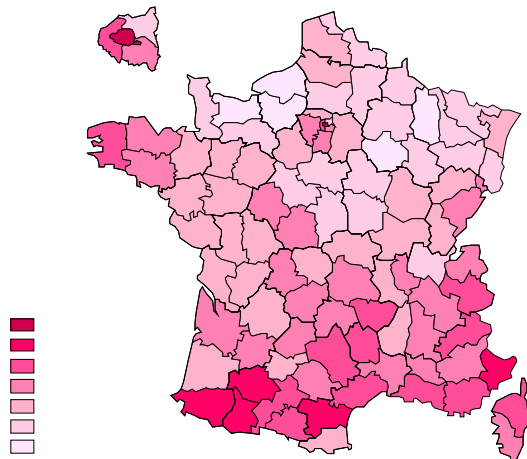
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
38.5	61.5	0.0	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	61.5	0.0	0.0	0.0

Carte 39



t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
9.73	22.50	14.61	3.46

Répartition

épars	polarisé	-
38.5	46.2	15.4

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
69.2	0.0	0.0	15.4	7.7	7.7

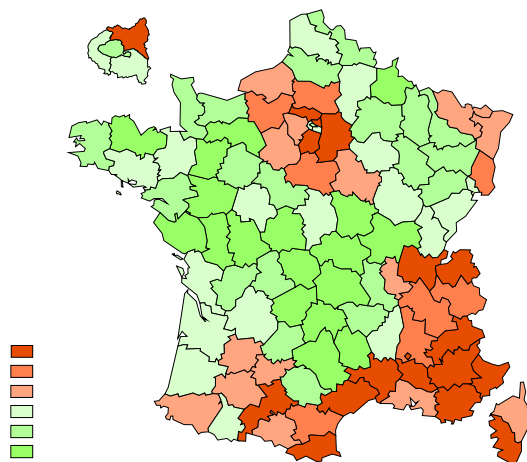
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
15.4	38.5	23.1	15.4	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	53.8	0.0	0.0	7.7

Carte 40



t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
10.52	26.80	19.29	4.66

Répartition

épars	polarisé	-
38.5	53.8	7.7

Orientation

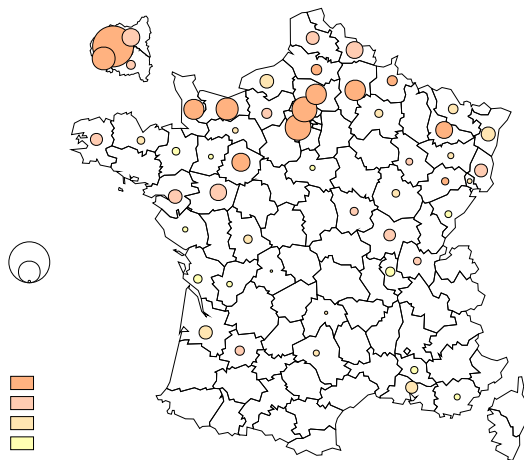
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
30.8	15.4	15.4	0.0	23.1	15.4

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
61.5	38.5	0.0	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	38.5	23.1	0.0	0.0



Carte 41

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
9.99	32.93	17.57	5.83

Répartition

épars	polarisé	-
30.8	61.5	7.7

Orientation

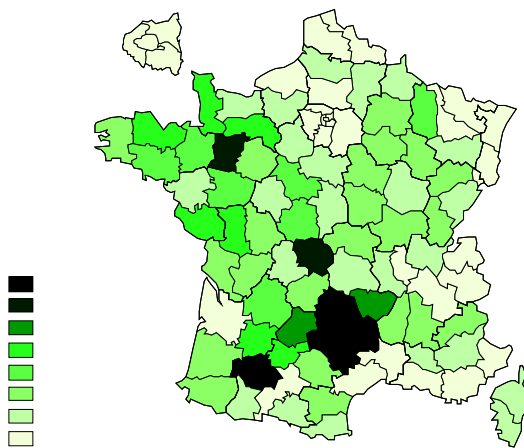
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
69.2	7.7	7.7	0.0	7.7	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
38.5	23.1	0.0	30.8	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
53.8	15.4	0.0	0.0	30.8



Carte 42

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
10.98	31.21	19.44	5.59

Répartition

épars	polarisé	-
30.8	53.8	15.4

Orientation

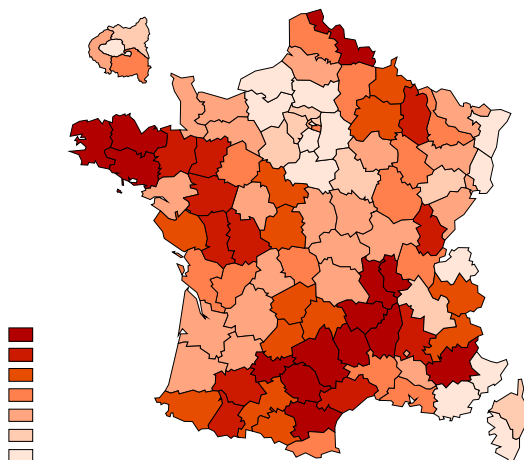
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	15.4	7.7	23.1	23.1	23.1

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
30.8	30.8	23.1	7.7	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
46.2	30.8	7.7	7.7	7.7



Carte 43

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
12.06	28.62	18.83	4.35

Répartition

épars	polarisé	-
53.8	46.2	0.0

Orientation

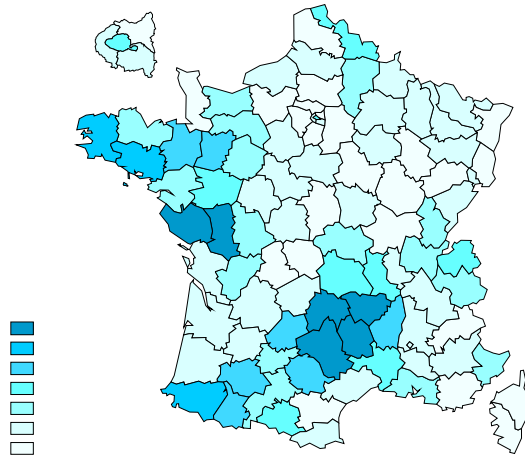
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	7.7	30.8	0.0	46.2	15.4

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
38.5	30.8	30.8	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
23.1	30.8	38.5	7.7	0.0



Carte 44

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
11.04	24.45	16.32	3.48

Répartition

épars	polarisé	-
46.2	46.2	7.7

Orientation

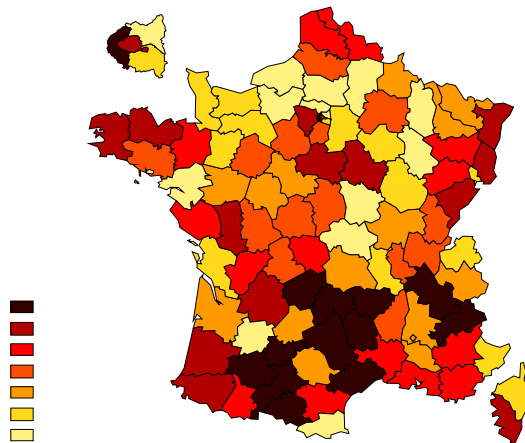
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	15.4	30.8	7.7	38.5	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
7.7	53.8	23.1	7.7	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
30.8	46.2	0.0	15.4	7.7



Carte 45

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
7.57	20.29	14.77	3.64

Répartition

épars	polarisé	-
23.1	69.2	7.7

Orientation

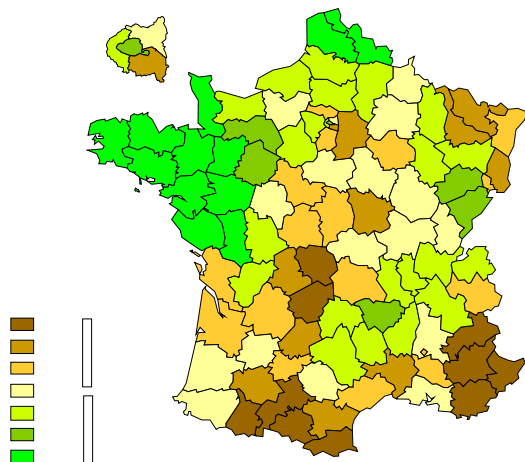
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
61.5	7.7	7.7	0.0	15.4	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
38.5	46.2	15.4	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
53.8	30.8	0.0	7.7	7.7



Carte 46

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
7.18	38.75	18.25	7.18

Répartition

épars	polarisé	-
46.2	38.5	15.4

Orientation

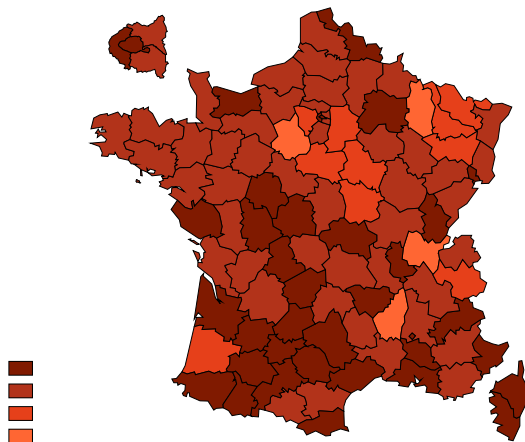
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
15.4	0.0	15.4	7.7	30.8	30.8

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
15.4	53.8	23.1	0.0	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
15.4	46.2	30.8	0.0	7.7



Carte 47

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
7.53	22.56	16.68	4.51

Répartition

épars	polarisé	-
53.8	38.5	7.7

Orientation

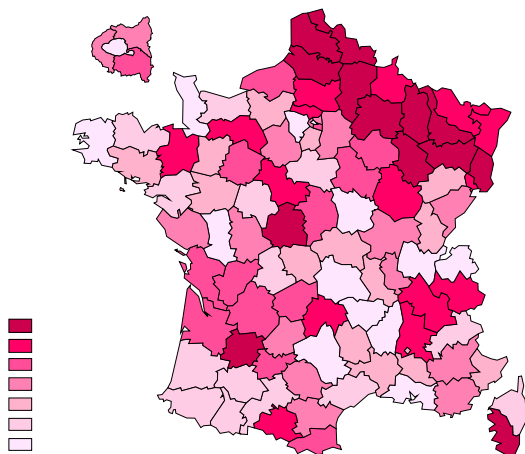
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
46.2	0.0	0.0	7.7	23.1	23.1

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
0.0	23.1	38.5	30.8	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	23.1	7.7	15.4	15.4



Carte 48

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
12.57	27.52	19.20	4.38

Répartition

épars	polarisé	-
23.1	76.9	0.0

Orientation

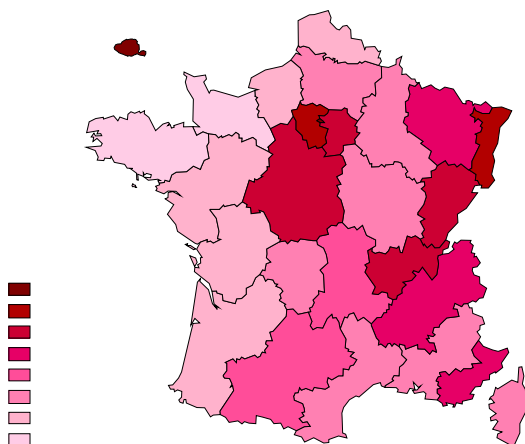
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
23.1	7.7	7.7	38.5	15.4	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
23.1	69.2	7.7	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
69.2	23.1	7.7	0.0	0.0



Carte 49

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
0.25	28.54	16.40	6.91

Répartition

épars	polarisé	-
30.8	61.5	7.7

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	46.2	7.7	0.0	15.4	23.1

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
30.8	46.2	23.1	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	30.8	15.4	15.4	0.0

Carte 50

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
9.11	34.24	16.33	6.03

Répartition

épars	polarisé	-
23.1	69.2	7.7

Orientation

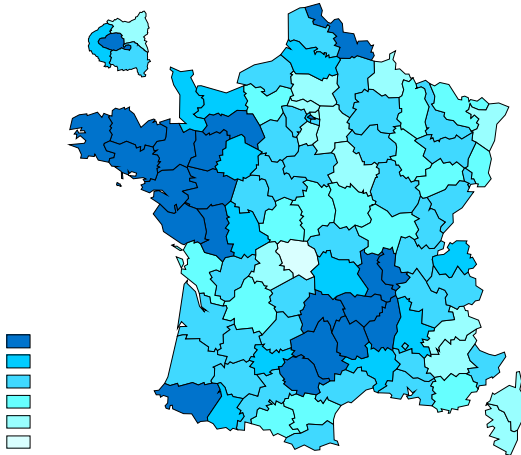
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	15.4	38.5	0.0	30.8	15.4

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
46.2	30.8	23.1	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
30.8	61.5	7.7	0.0	0.0



Carte 51

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
8.60	25.13	14.55	4.23

Répartition

épars	polarisé	-
15.4	84.6	0.0

Orientation

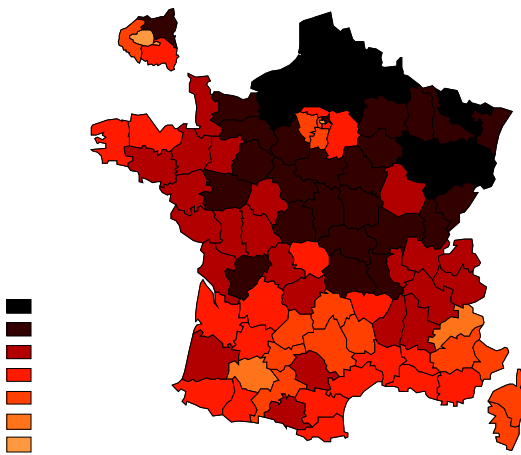
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
46.2	0.0	15.4	38.5	0.0	0.0

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
76.9	7.7	0.0	7.7	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
53.8	30.8	0.0	0.0	15.4



Carte 52

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
8.91	28.12	16.80	4.83

Répartition

épars	polarisé	-
84.6	7.7	7.7

Orientation

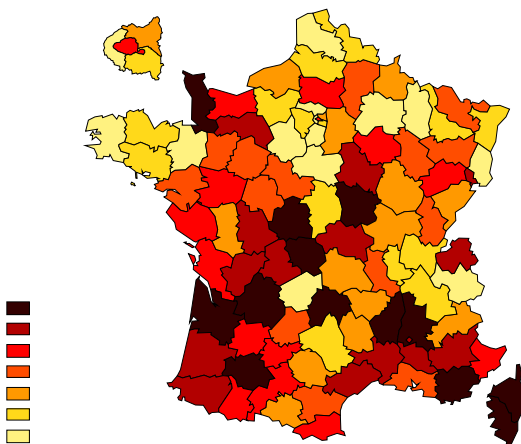
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
15.4	0.0	23.1	7.7	38.5	15.4

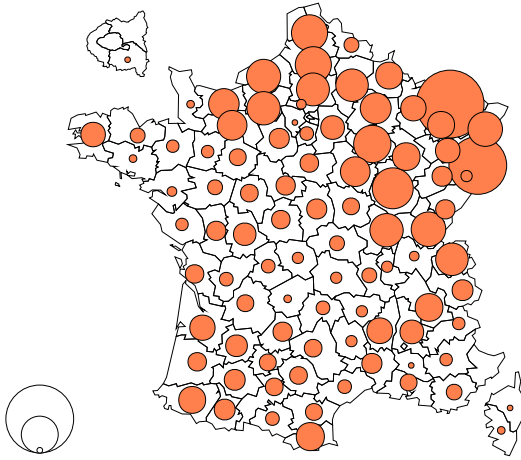
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
15.4	46.2	23.1	7.7	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
15.4	23.1	0.0	30.8	30.8





Carte 53

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
9.62	25.53	16.08	4.70

Répartition

épars	polarisé	-
15.4	84.6	0.0

Orientation

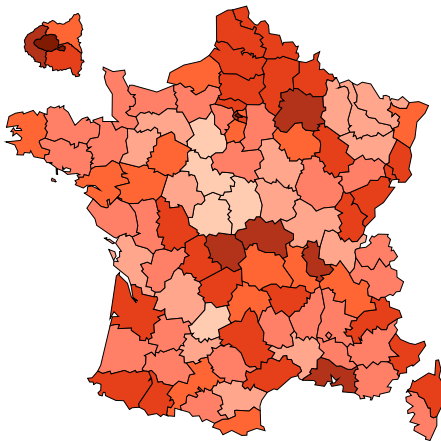
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	15.4	15.4	53.8	7.7	0.0

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
30.8	46.2	15.4	7.7	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
69.2	15.4	7.7	0.0	7.7



Carte 54

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
10.56	17.83	14.63	2.06

Répartition

épars	polarisé	-
84.6	0.0	15.4

Orientation

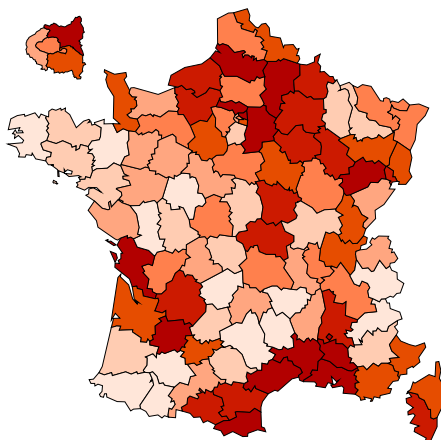
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
23.1	0.0	0.0	7.7	53.8	15.4

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
0.0	23.1	38.5	15.4	23.1

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
7.7	46.2	7.7	0.0	38.5



Carte 55

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
11.60	21.29	15.82	2.89

Répartition

épars	polarisé	-
61.5	30.8	7.7

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
38.5	0.0	0.0	0.0	38.5	23.1

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
7.7	46.2	38.5	7.7	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
46.2	15.4	23.1	15.4	0.0

Carte 56

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
10.73	23.67	17.49	4.53

Répartition

épars	polarisé	-
46.2	38.5	15.4

Orientation

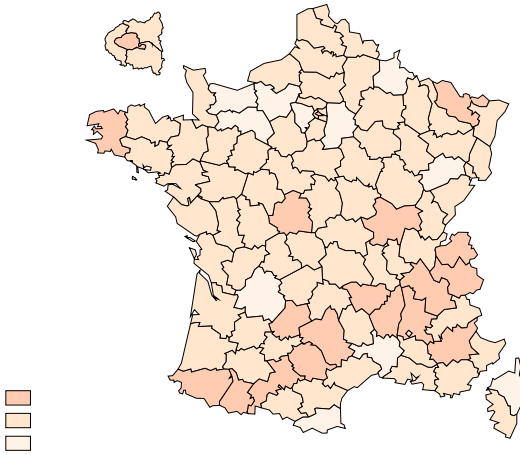
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
46.2	0.0	7.7	7.7	23.1	15.4

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
0.0	0.0	30.8	53.8	15.4

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
30.8	15.4	0.0	7.7	46.2



Carte 57

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
11.05	25.53	17.30	4.04

Répartition

épars	polarisé	-
38.5	61.5	0.0

Orientation

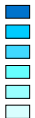
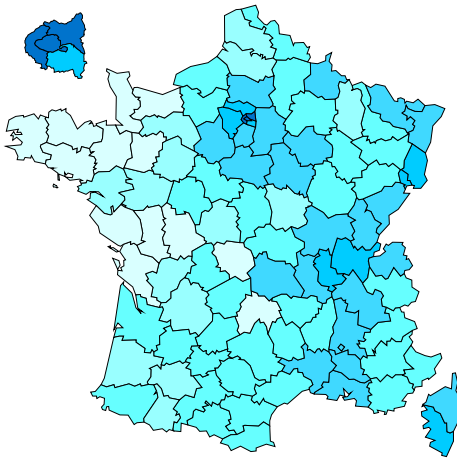
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
7.7	69.2	15.4	0.0	0.0	7.7

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
7.7	61.5	30.8	0.0	0.0

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
61.5	30.8	0.0	0.0	7.7



Carte 58

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
10.63	23.30	15.88	4.09

Répartition

épars	polarisé	-
61.5	38.5	0.0

Orientation

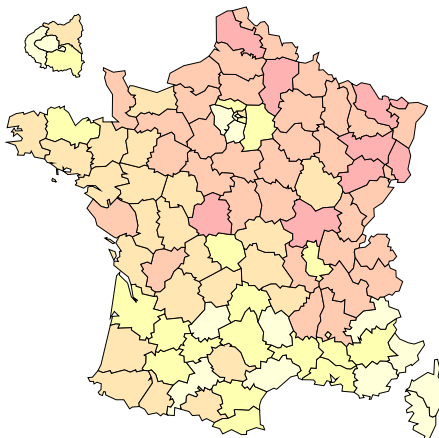
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
0.0	0.0	23.1	53.8	7.7	15.4

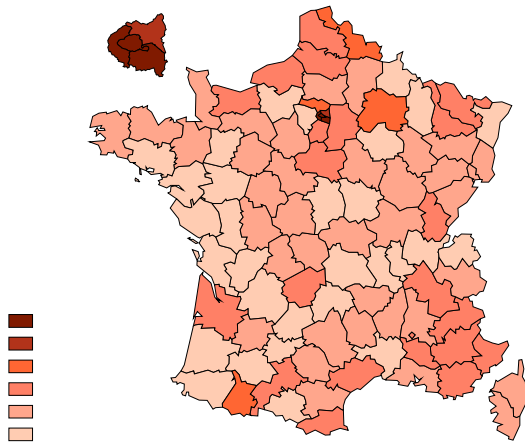
Contraste

TM	M	pm	tpm	-
0.0	30.8	46.2	15.4	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
53.8	15.4	15.4	0.0	15.4





Carte 59

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
12.97	28.69	18.14	4.31

Répartition

épars	polarisé	-
76.9	23.1	0.0

Orientation

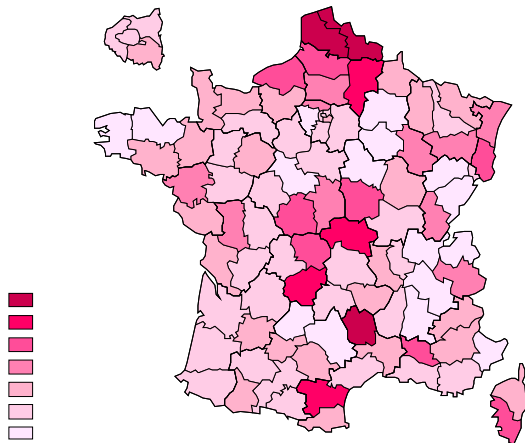
N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
30.8	0.0	0.0	0.0	38.5	30.8

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
15.4	7.7	53.8	7.7	15.4

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
38.5	30.8	7.7	7.7	15.4



Carte 60

t_{min}	t_{max}	t_{moyen}	σ
9.37	23.04	17.61	4.23

Répartition

épars	polarisé	-
53.8	46.2	0.0

Orientation

N / S	E / O	NO / SE	NE / SO	non	-
23.1	0.0	7.7	7.7	46.2	15.4

Contraste

TM	M	pm	tpm	-
23.1	38.5	23.1	7.7	7.7

Nombre de zones

2	3	4	5+	-
46.2	23.1	23.1	7.7	0.0

Annexe B

DTDs

B.1 Aspect physique

```
<!ENTITY % math      "http://www.w3.org/1998/Math/MathML">
<!ENTITY % xlink     "http://www.w3.org/1999/xlink">
<!ENTITY % xhtml     "http://www.w3.org/1999/xhtml">
<!ENTITY % xsl       "http://www.w3.org/1999/XSL/Transform">
<!ENTITY % svg       "http://www.w3.org/2000/svg">
<!ENTITY % xsd       "http://www.w3.org/2001/XMLSchema">

<!ENTITY % cps       "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/corpus">
<!ENTITY % phy       "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/physical">
<!ENTITY % gfx       "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/graphical">
<!ENTITY % lgc       "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/logical">

<!ENTITY % proc      "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/process">

<!ENTITY % gml       "http://www.opengis.org/gml">

<!ENTITY % attr.ns
"xmlns:math  CDATA #FIXED '%math;'"
"xmlns:xlink CDATA #FIXED '%xlink;'"
"xmlns:xhtml CDATA #FIXED '%xhtml;'"
"xmlns:xsl   CDATA #FIXED '%xsl;'"
"xmlns:svg   CDATA #FIXED '%svg;'"
"xmlns:xsd   CDATA #FIXED '%xsd;'"
```

```
xmlns:proc CDATA #FIXED '%proc;'  
xmlns:cps CDATA #FIXED '%cps;'  
xmlns:phy CDATA #FIXED '%phy;'  
xmlns:gfx CDATA #FIXED '%gfx;'  
xmlns:lgc CDATA #FIXED '%lgc;'  
  
xmlns:gml CDATA #FIXED '%gml;'">  
  
<!ENTITY % attr.base  
"id ID #IMPLIED  
%attr.ns;">  
  
<!-- ***** -->  
<!-- * Aspect physique * -->  
<!-- ***** -->  
  
<!ELEMENT physical (file|url)*>  
<!ATTLIST physical  
%attr.base;>  
  
<!ELEMENT file EMPTY>  
<!ATTLIST file  
%attr.base;  
name CDATA #REQUIRED  
contentType CDATA #REQUIRED>  
<!ELEMENT url EMPTY>  
<!ATTLIST url  
%attr.base;  
href CDATA #REQUIRED>
```

B.2 Aspect graphique

```
<!ENTITY % math "http://www.w3.org/1998/Math/MathML">  
<!ENTITY % xlink "http://www.w3.org/1999/xlink">  
<!ENTITY % xhtml "http://www.w3.org/1999/xhtml">  
<!ENTITY % xsl "http://www.w3.org/1999/XSL/Transform">  
<!ENTITY % svg "http://www.w3.org/2000/svg">  
<!ENTITY % xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
```

```

<!ENTITY % cps      "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/corpus">
<!ENTITY % phy      "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/physical">
<!ENTITY % gfx      "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/graphical">
<!ENTITY % lgc      "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/logical">

<!ENTITY % proc     "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/process">

<!ENTITY % gml      "http://www.opengis.org/gml">

<!ENTITY % attr.ns
"xmlns:math  CDATA #FIXED '%math;'"
  xmlns:xlink CDATA #FIXED '%xlink;'"
  xmlns:xhtml CDATA #FIXED '%xhtml;'"
  xmlns:xsl   CDATA #FIXED '%xsl;'"
  xmlns:svg   CDATA #FIXED '%svg;'"
  xmlns:xsd   CDATA #FIXED '%xsd;'"

  xmlns:proc  CDATA #FIXED '%proc;'"
  xmlns:cps   CDATA #FIXED '%cps;'"
  xmlns:phy   CDATA #FIXED '%phy;'"
  xmlns:gfx   CDATA #FIXED '%gfx;'"
  xmlns:lgc   CDATA #FIXED '%lgc;'"

  xmlns:gml   CDATA #FIXED '%gml;'">

<!ENTITY % attr.base
"ID          ID          #IMPLIED
%attr.ns;">

<!-- ***** -->
<!-- * Aspect graphique * -->
<!-- ***** -->

<!ENTITY % attr.gfx.element
"%attr.base;
z          CDATA #REQUIRED">
<!ENTITY % elts.gfx.any
"circle|rectangle|polygon|text|invalid">

```



```
<!ELEMENT string (#PCDATA)>
```

```
<!ELEMENT bbox EMPTY>
```

```
<!ATTLIST bbox
    %attr.base;
    x0 CDATA #REQUIRED
    x1 CDATA #REQUIRED
    y0 CDATA #REQUIRED
    y1 CDATA #REQUIRED>
```

```
<!ELEMENT color EMPTY>
```

```
<!ATTLIST color
    %attr.base;
    r CDATA #REQUIRED
    g CDATA #REQUIRED
    b CDATA #REQUIRED>
```

```
<!ELEMENT border (color)>
```

```
<!ATTLIST border
    %attr.base;
    width CDATA #REQUIRED>
```

```
<!ELEMENT surface (color)>
```

```
<!ATTLIST surface
    %attr.base;>
```

```
<!ELEMENT circle (bbox, surface?, border?)>
```

```
<!ATTLIST circle
    %attr.gfx.element;
    cx CDATA #REQUIRED
    cy CDATA #REQUIRED
    r CDATA #REQUIRED>
```

```
<!ELEMENT rectangle (bbox, surface?, border?)>
```

```
<!ATTLIST rectangle
    %attr.gfx.element;
    x CDATA #REQUIRED
    y CDATA #REQUIRED
    w CDATA #REQUIRED
```

```

h      CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT polygon (bbox, surface?, border?)>
<!ATTLIST polygon
  points CDATA #REQUIRED
         %attr.gfx.element;>

<!ELEMENT text (bbox, surface?, font, string)>
<!ATTLIST text
  x      CDATA #REQUIRED
  y      CDATA #REQUIRED
         %attr.gfx.element;>

<!ELEMENT invalid (bbox, surface?, border? )>
<!ATTLIST invalid
         %attr.gfx.element;>

<!ELEMENT font EMPTY>
<!ATTLIST font
  %attr.base;
  family CDATA #REQUIRED
  style  CDATA #REQUIRED
  size   CDATA #REQUIRED>

<!ELEMENT graphical (bbox, (%elts.gfx.any;)*)>
<!ATTLIST graphical
  %attr.base;
  mesh   CDATA #REQUIRED>

```

B.3 Aspect logique

```

<!ENTITY % math      "http://www.w3.org/1998/Math/MathML">
<!ENTITY % xlink    "http://www.w3.org/1999/xlink">
<!ENTITY % xhtml    "http://www.w3.org/1999/xhtml">
<!ENTITY % xsl      "http://www.w3.org/1999/XSL/Transform">
<!ENTITY % svg      "http://www.w3.org/2000/svg">
<!ENTITY % xsd      "http://www.w3.org/2001/XMLSchema">

```

```
<!ENTITY % cps      "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/corpus">
<!ENTITY % phy      "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/physical">
<!ENTITY % gfx      "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/graphical">
<!ENTITY % lgc      "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/logical">

<!ENTITY % proc     "http://users.info.unicaen.fr/~faurot/ns/process">

<!ENTITY % gml      "http://www.opengis.org/gml">
```

```
<!ENTITY % attr.ns
"xmlns:math CDATA #FIXED '%math;';
xmlns:xlink CDATA #FIXED '%xlink;';
xmlns:xhtml CDATA #FIXED '%xhtml;';
xmlns:xsl CDATA #FIXED '%xsl;';
xmlns:svg CDATA #FIXED '%svg;';
xmlns:xsd CDATA #FIXED '%xsd;';
```

```
xmlns:proc CDATA #FIXED '%proc;';
xmlns:cps CDATA #FIXED '%cps;';
xmlns:phy CDATA #FIXED '%phy;';
xmlns:gfx CDATA #FIXED '%gfx;';
xmlns:lgc CDATA #FIXED '%lgc;';

xmlns:gml CDATA #FIXED '%gml;'">
```

```
<!ENTITY % attr.base
"ID ID #IMPLIED
%attr.ns;">
```

```
<!-- ***** -->
<!-- * Aspect logique * -->
<!-- ***** -->
```

```
<!ENTITY % attr.lgc.base
"%attr.base;
links CDATA #IMPLIED">
```

```
<!-- gfx:refs est une liste d'indenfiants dans un fichier gfx:* -->
<!-- permet de conserver le lien entre les elements logiques et -->
<!-- equivalents graphiques. -->
```

```

<!ELEMENT map (legend+, frame+, context*)>
<!ATTLIST map
    %attr.lgc.base;>

<!ELEMENT context EMPTY>
<!ATTLIST context
    %attr.lgc.base;
    role CDATA #IMPLIED>

<!ELEMENT legend (implementation, valuation+)>
<!ATTLIST legend
    %attr.lgc.base;>

<!-- Les types possibles sont: -->
<!-- colored/layer -->
<!-- proportional/circle -->
<!-- colored/proportional/circle -->
<!-- Il peut donc y avoir plusieurs d'œfinitions -->
<!ELEMENT implementation (implementation_definition+)>
<!ATTLIST implementation
    %attr.lgc.base;
    type CDATA #REQUIRED>

<!-- A la fois pour implementation at lgc.valuation -->
<!-- Les valeurs des entry d'œpendent du contexte. -->
<!-- Implementation: -->
<!-- Pour la taille des cercles: "f:x" -->
<!-- Pour les aplats de couleur: "rgb:x,x,x" -->

<!-- Valuation: -->
<!-- symbolique: "s:x" -->
<!-- valeurs: "i:x", "f:x" -->
<!-- gamme: "i:x,x", "f:x,x") -->
<!-- -->
<!-- x peut ˆtre un entier, un flottant, rien pour -->
<!-- inf ou sup, preced'œ de ! pour exclure la borne -->
<!-- ex: "i:!,!100" entier inferieur ˆ 100 exclus -->
<!-- -->

```

```
<!ELEMENT implementation_definition (entry*)>
<!ATTLIST implementation_definition
    type    CDATA #REQUIRED
    %attr.lgc.base;>
<!ELEMENT entry EMPTY>
<!ATTLIST entry
    value    CDATA #REQUIRED
    %attr.lgc.base;>

<!-- Les types possibles sont: -->
<!-- symbolic -->
<!-- numeric -->
<!-- numeric/count -->
<!-- numeric/measure -->
<!-- numeric/ratio -->
<!-- numeric/ratio/percent -->
<!-- temporal -->
<!ELEMENT valuation (valuation_definition, description?)>
<!ATTLIST valuation
    type            CDATA            #REQUIRED
    organisation    (value|class)    #REQUIRED
    %attr.lgc.base;>

<!ELEMENT valuation_definition (entry*)>
<!ATTLIST valuation_definition
    type    CDATA #REQUIRED
    %attr.lgc.base;>

<!-- Une description est une chaîne qui décrit l'entrée -->
<!ELEMENT description (#PCDATA)>
<!ATTLIST description
    %attr.lgc.base;>

<!-- Un fond de carte -->
<!ELEMENT frame (unit*)>
<!ATTLIST frame
    %attr.lgc.base;>

<!-- Les unités d'information sur le fond de carte -->
<!ELEMENT unit (value*)>
```

```
<!ATTLIST unit
    %attr.lgc.base;>

<!-- Une valeur, pour une UIC dans une composante -->

<!-- entry est un lien vers la classe dont il est question -->
<!-- ou une valeur grace a la quelle la valeur 'originale' peut -->
<!-- etre deduite -->
<!ELEMENT value EMPTY>
<!ATTLIST value
    definition IDREF #REQUIRED
    entry CDATA #REQUIRED
    %attr.lgc.base;>
```


Résumé

La révolution numérique bouleverse nos modes de production et d'accès à l'information. La quantité d'information disponible notamment sur le web et le principe de navigation dans un espace documentaire en perpétuelle évolution nous incitent à remettre en question la notion de document en tant que support de l'information, et les spécificités du document numérique.

Il apparaît nécessaire de développer des outils intégrés pour accompagner cette mutation, afin de répondre aux trois grandes problématiques que sont l'indexation, la navigation au sein d'un espace documentaire et la construction de ce document. Le développement de ces outils doit reposer sur une compréhension fine de l'intrication entre la forme du document et le sens qu'il véhicule de par le contexte dans lequel il s'inscrit, les usages et les connaissances qui le définissent et le motivent.

Dans cette optique, nous proposons une étude de la carte géographique dans le document numérique composite. L'objectif est de définir une approche cohérente tant du point de vue technique que théorique permettant de considérer et d'exploiter la carte thématique en tant que support d'information géographique au sein du document composite.

Nous proposons un ensemble de réflexions sur l'information géographique et le document numérique composite, qui constituent le cadre de notre problématique. Nous développons ensuite un modèle de contenu de la carte géographique thématique basé sur une approche sémiologique de l'information. Ce modèle vise à caractériser l'articulation du sens et de la forme de l'information dans ce type de carte. Nous présentons finalement une plate-forme informatique mettant en œuvre les concepts élaborés.

Mots-clés: Cartes, Géographie – Systèmes d'information, Analyse de données symboliques, Illustrations, images, etc – Interprétation, Informatique documentaire

Abstract

The digital revolution is radically changing the way we produce, access and use information. The amount of information available on an ever evolving World Wide Web is questioning the very nature of a document as a vector for information, especially in its digital form.

As part of this mutation, integrated semantic tools must be developed to address three essential aspects of the question : indexing documents, browsing through large collections, and producing those documents. Such tools must be based on a deep understanding of the intricate relation between the physical form of a document and the informative content it carries, which is bound to the context in which they appear.

Based on those assertions, we propose a study of the geographical map in the multi-modal document. The goal is to define a theoretically and technically consistent approach to exploiting thematic maps in the geographical documents.

We propose an general overview of the context of our study, namely the geographic information and the composite document. We then develop a content model for the thematic map, based on a semiological approach. We finally present a software framework implementing the various concepts and models that have been discussed.

Keywords: Maps, Information storage and retrieval systems – Geography, Picture interpretation

