

Jacques Bertin

**LA GRAPHIQUE**  
et le traitement graphique de l'information

*Avec la collaboration de  
Serge Bonin, Jean-Daniel Gronoff, Alexandra Laclau,  
Aline Jelinski, Madeleine Bonin, Georgette Couty, Alain Couty,  
Paulette Dufrene, Nancy François,  
Marie-Claude Lortic, Elise Rayez  
et tous les membres du Laboratoire de Graphique*

*Préface d'Alexandre Laumonier  
et Jean-Michel Gèridan*

**Z**  

---

**S**

2017  
ZONES SENSIBLES  
*Pactum serva*

## PRÉFACE

Καὶ ἀνατολικὴ ὄρεσι παρὰ τὴν ἰσθμὸν εἰς ἄστυ	τολίαντις	κγ	μδ	δ
τριου ἀγίας πόλις καὶ μαυροδύλαρον. καὶ ῥι	Καὶ ὄρεσι μῆσος	κα	μδ	ε
Πόλις ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ	ὑποδὸς τῷ μετὰ τὴν ἰσθμὸν μῆσος οὐκ ἐπισησ			
ἀνατολικὴ ὄρεσι καὶ ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ	ἕς τὸ μέτρον. ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ	ιβ	γ	μβ
Ποσειδωνίου ἀνατολικὴ ὄρεσι καὶ ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ	ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ			
βούλαιον	ιβ	γ	μδ	ε
Ἡεθὸς ἀνατολικὴ ὄρεσι καὶ ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ	ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ			
κορίμιον	ιβ	γ	μδ	ε
Ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ	ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ			
μολκόναι	ιβ	γ	μδ	ε
Ἡεθὸς ἀνατολικὴ ὄρεσι καὶ ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ	ἰσθμῷ ἐπὶ τῷ ἰσθμῷ			
δ' ὄρεσι μῆσος	κ	μδ		
δαρού ὄρεσι	κα	μδ	ε	
ῥουτοῦ πῆλαι	κα	ε	μδ	



FIG. 1 & 2  
Ptolémée, *Géographie*,  
parchemin de langue  
grecque, fin xiv<sup>e</sup>-début  
xiv<sup>e</sup> siècle, British Library,  
Burney MS 111. Figure 1, en  
haut : table de coordonnées  
géographiques de lieux  
(f. 17<sup>v</sup>). Figure 2, en bas :  
«Asiae Tabula XII : Taprobane  
insula», visualisation sous  
forme de carte des tables  
numériques modélisant l'île  
du Sri Lanka (f. 7<sup>v</sup>).

Lorsqu'il composa son ouvrage connu sous le nom de *Géographie*, considéré comme une œuvre fondatrice de la cartographie occidentale, le Grec Claude Ptolémée (ca. 90-168) semble s'être interrogé sur les questions relatives à la «visualisation de données» en des termes précurseurs. Son *Γεωγραφικὴ Ὑφήγησις* (titre dont la traduction littérale serait *Manuel pour dessiner une carte du monde*), probablement rédigé vers 150, était un ambitieux projet consistant d'une part à réunir toutes les connaissances géographiques de son temps sous forme de données, et de l'autre à cartographier l'intégralité du monde connu. Ce vaste ensemble, exceptionnel pour l'Antiquité tant au niveau théorique qu'en ce qui concerne l'immense catalogue de (coor)données qu'il renferme, exigeait à la fois une véritable rigueur scientifique et une réflexion sur la place de la (carto)graphie en tant qu'élaboration d'un système de représentation visuelle basé sur le traitement ordonné d'informations textuelles\*.

\* Voir Germaine Aujac, *Claude Ptolémée. Astronome, astrologue, géographe*, Éditions du CTHS, Paris, 2012 (l'ouvrage contient une traduction française des principaux textes de la *Géographie*).

Le *Manuel* se divise en huit livres. Le premier détaille les différentes manières de recueillir les données géographiques, exprimées en latitudes et longitudes, basées sur des observations astronomiques et des calculs géométriques, et à partir desquelles pourront être «dessinées» des cartes. Le livre I constitue en quelque sorte le «mode d'emploi» des livres II à VII, lesquels ne sont dans leur quasi intégralité que de longues enfilades de tableaux de coordonnées des diverses parties du monde habitée, consignnant latitudes et longitudes de plus 8000 lieux (un chiffre considérable pour l'époque). La majeure partie du *Manuel pour dessiner une carte du monde* est donc composée de simples *tabulae* numériques\*\*.

La fin du livre VII consiste en une «légende» de la carte du monde, suivie (livre VIII) de 26 autres «descriptions», ce qui laisse à penser que le *Manuel* aurait donc compté dans sa dernière section 27 cartes, l'une mondiale, les autres régionales (on traduit par «légende» le terme grec *hypographē*,

\*\* «Numérique» au sens premier du terme, «qui concerne les nombres». Notons que pendant presque un millénaire, en Occident, le terme latin le plus utilisé pour désigner une carte géographique était «*tabula*».

« ce qu'il convient d'écrire sous chaque carte »). Le texte s'arrêtant à ces descriptions, se pose alors cette question : le *Manuel* était-il accompagné ou non de cartes, et si oui, lesquelles ? Les chercheurs restent divisés d'autant qu'il est impossible de trancher : les cartes les plus récentes que l'on possède de la *Géographie* sont postérieures de plus de 1000 ans à la rédaction du traité. D'où cette autre interrogation : ces dernières reproduisaient-elles d'autres cartes datant de l'époque de Ptolémée, transmises à mesure des siècles et des copies, ou furent-elles *construites* à partir du « mode d'emploi », validant ainsi scientifiquement le modèle ptoléméen de visualisation de données ?

La *Géographie*, célébrée postérieurement pour ses cartes, n'en demeure pas moins, avant toute chose, un « manuel » de dessin : une fois tracés méridiens et parallèles, qui divisent mathématiquement la sphère terrestre, Ptolémée invite les apprentis cartographes à dessiner des cartes à partir de 18 tables numériques (les livres II à VII) correspondant à la tabulation de l'œkoumène en 18 provinces. À ces *tabulæ* se rapportent donc autant de cartes, et l'ordre des tables y est défini en fonction du parcours de la main qui inscrit le support, petit à petit, de l'Ouest (de l'Europe) à l'Est (de l'Asie) et du Nord au Sud, chaque table s'achevant là où commence la suivante. Les données numériques, qui localisent « points » et « lignes », permettent ainsi de donner à voir les milliers de coordonnées géographiques recueillies par Ptolémée, et par là de dessiner une « image » de la terre. Savoir si, oui ou non, le manuscrit original du traité (ou ses copies) comportait

des cartes est en fin de compte accessoire – il suffisait de lire attentivement le livre I pour les dessiner [FIG. 1 & 2].

En revanche, la captivante histoire de la diffusion sinueuse de la *Géographie* en Occident\* montre que l'assimilation d'un savoir géographique destiné à *figurer* la terre ne va pas de soi, comme en témoignent des choix graphiques bien différents les uns des autres et qui vont de pair avec les « divisions » du traité : 1/ le « mode d'emploi » ; 2/ les tables de numériques ; 3/ les « légendes » ; 4/ les cartes elles-mêmes.

Le destin des tables de la *Géographie* semble s'être parfois confondu avec celui d'un autre traité de Ptolémée, l'*Almageste*, l'ouvrage de mathématique et d'astronomie le plus complet de l'Antiquité, qui contient de nombreuses *tabulæ* de positions des astres. Dans un commentaire de l'*Almageste*, Théon d'Alexandrie (IV<sup>e</sup> s. ap. J.-C.) cite la *Géographie* en rapport avec des tables de positions de villes illustres. Il n'est pas impossible que le Perse Al-Khawarizmi (IX<sup>e</sup> s.), l'un des pères de l'algèbre moderne (dont le patronyme donnera naissance au mot « algorithme »), ait connu la *Géographie*, comme en témoigne son *Kitab surat al-ard* (« Livre de la figure de la terre »), qui reprend certaines coordonnées attribuables à Ptolémée. Le *De cursibus planetarum* de Raymond de Marseille (XII<sup>e</sup> s.) renferme une table d'une soixantaine de lieux qui renvoie explicitement à la *Géographie*. D'autres textes

\* Patrick Gautier-Dalché, *La géographie de Ptolémée en Occident (IV<sup>e</sup>-XVI<sup>e</sup> siècle)*, Turnhout, Brepols, 2009, ouvrage majeur sur la *Géographie* et l'histoire de la visualisation de données en Occident.

montrent que les tables ptoléméennes circulèrent largement et furent émenées : scribes et hommes d'Église ne cessèrent, au fil des siècles, de corriger les données fautives.

Les « légendes » circulèrent également. Ces textes contiennent à la fois des éléments mathématiques et d'autres purement descriptifs (comme une liste de villes). Ils s'apparentent à certaines sources utilisées pour géolocaliser des lieux, les *intenerarium* et *periplus*, récits de voyages (respectivement terrestres et maritimes), qui décrivaient sous forme de liste les villes ou les côtes parcourues (Ptolémée explique toutefois, dans le livre I, que ces récits sont nettement moins précis qu'un bon calcul astronomique, les mathématiques étant plus fiables que l'estimation humaine).

Mais ceux qui eurent en main la *Géographie* eurent parfois des points de vue très différents sur ces descriptions légendaires. Un traité anonyme du IX<sup>e</sup> s. décrit différentes régions du monde en reprenant explicitement les divisions de Ptolémée, mais il semblerait que l'objectif final de ces descriptions ait été d'*éliminer* purement et simplement les cartes : « nous décrivons en totalité les peuples de chaque partie de la terre et les mers qui y sont contenues, de telle sorte que d'après leurs positions respectives, on puisse facilement considérer en esprit l'ensemble de l'œcumène sans avoir besoin d'une carte »\*. Au XIII<sup>e</sup> s., Albert le Grand évoque également « la connaissance de la nature des lieux et des cités, qui

\* Toutes les citations proviennent de Patrick Gautier-Dalché, *op. cit.*

dépend de leur longitude et de leur latitude » et décrit une *figura visibilis* (une carte ?) qu'il juge *artificiosum*, lui préférant une *brevis orbis mappa*, expression qui, contre toute attente, ne désigne pas une représentation visuelle, mais bien une énumération textuelle sous forme de listes : « la description que nous produisons, nous ne la présentons pas sous forme de figure, mais nous exposerons de façon continue la géographie de l'œkoumène [...] et alors chacun pourra s'imaginer par lui-même la figure de la carte habitée. »

À rebours de ceux qui favorisaient les légendes, d'autres semblent bel et bien avoir eu des cartes figurées en main. Dès avant le VII<sup>e</sup> s., un certain Agathos Daimon, ingénieur d'Alexandrie, aurait « esquissé l'œkoumène tout entier » à partir de la *Géographie*. Cassiodore (VI<sup>e</sup> s.) fait allusion dans ses *Institutiones* à un *Ptolemai codex* : la carte « permettra [...] de parcourir en esprit les espaces que d'autres n'ont embrassés que par de pénibles pérégrinations ». D'autres textes citent la *Géographie* en renvoyant explicitement à de véritables cartes, et non à des descriptions, et encore moins aux tables numériques.

Il faudra toutefois attendre la fin du XIII<sup>e</sup> s. pour que la *Géographie* soit véritablement redécouverte en Occident, grâce au Byzantin Maxime Planude (ca. 1260-1310) dont le travail d'érudition finit par payer : selon toute vraisemblance, il découvrit à l'été 1295 (et à sa grande joie) un premier manuscrit du texte sans les cartes, qu'il entreprit aussitôt de redessiner à l'aide des instructions et des tables numériques. L'entreprise fut visiblement pénible

(«j’eus la plus grand peine à redécouvrir l’art de faire des cartes décrit dans le traité») mais réussie. Il fallut ensuite moins d’un siècle pour qu’une traduction latine du traité soit réalisée, sans doute initiée par un autre Byzantin, Manuel Chrysolaras, et achevée par son disciple Jacopo Angeli, lequel transforma le titre grec en *Cosmographia*. En 1406, la première version latine du traité, *Cosmographia di Ptolomeo con la pictura* («avec les images»), était disponible en Occident. Largement diffusée (la naissance de l’imprimerie, quelques décennies plus tard, y fut pour beaucoup), la *Géographie* allait devenir pour longtemps un texte de référence pour les géographes et les cartographes.

Le travail de Ptolémée ainsi que l’histoire du destin de la *Géographie* nous enseignent, d’une part, que la «visualisation de données», si populaire aujourd’hui dans notre univers d’écrans saturé d’images numériques, est bien plus ancienne que la naissance des ordinateurs et de la science algorithmique (l’immense catalogue des coordonnées géographiques ptoléméennes que devaient traiter les apprentis cartographes est en quelque sorte l’ancêtre des *big data*), et d’autre part que les modalités de «mise en image» de ressources numériques sont loin d’être évidentes et exigent de la part des cartographes des prises de décisions capitales quant aux solutions les plus à même de transcrire visuellement ces ressources. La longue histoire de la cartographie\* depuis Ptolémée

\* Voir notamment Christian Jacob, *L’empire des cartes. Approche théorique de la cartographie à travers l’histoire*, Paris, Albin Michel, 1992.

montre que tracer (*graphein* en grec) des cartes ne signifie pas (loin de là) que l’efficacité visuelle de ces dernières soit avérée. Si le développement de l’ingénierie militaire et de la statistique, au XIX<sup>e</sup> et au début du XX<sup>e</sup> s., poussa certains à interroger les difficultés de compréhension induites par la transformation d’informations en cartes, les travaux pionniers de Jacques Bertin, à partir des années 1950 (soit presque 2000 ans après Ptolémée), furent sans aucun doute parmi les premiers à définir avec rigueur ce que pourrait être un système de signes adapté au traitement graphique des données.

Jacques Bertin (1918-2010) étudia à l’École de cartographie à l’Université de Paris dans les années 1930, avant d’être engagé par le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) où il collabora avec le sociologue Paul-Henry Chombart de Lauwe à la publication de *Paris et l’agglomération parisienne\*\**, ouvrage où il fit part de ses premières réflexions sur le langage de la cartographie (chapitre «Recherche graphique»). Deux ans plus tard, avec le soutien de Lucien Febvre, il fut engagé par l’École des hautes études en sciences sociales (EHESS) où il devint directeur d’études en 1957, année de création du Laboratoire de cartographie, dont il fut le directeur jusqu’en 1985 (et qui fut rapidement renommé Laboratoire de graphique, un changement d’appellation nécessaire tant les recherches du laboratoire évoluèrent bien au-delà de l’«imitation graphique du monde», expression qu’employait Ptolémée pour désigner une carte).

\*\* Paris, Presses universitaires de France, 1952.

Si l’objectif premier de ce laboratoire fut de produire des graphiques à la demande des chercheurs de l’EHESS (dont l’historien Fernand Braudel qui, du fait de ses travaux sur l’économie au Moyen Âge, fut à l’époque l’un des premiers à comprendre l’importance de la représentation graphique des phénomènes historiques\*), Bertin (et ses collaborateurs, en premier lieu Serge Bonin) remplit sa mission en dépassant la simple exécution d’un travail de commande. Tracer visuellement des données sur un support demandait en premier lieu l’élaboration d’un langage (carto)graphique le plus à même de rendre compte visuellement de la complexité des phénomènes, difficulté que Ptolémée (pour des raisons techniques) avait à peine effleurée\*\*.

Le géographe, influencé dans les années 1960-1970 par l’essor de la sémiotique, synthétisa ses premiers travaux dans la *Sémiologie graphique. Les diagrammes – Les réseaux – Les cartes\*\*\**, un volumineux ouvrage théorique rehaussé de centaines de figures, livre fondateur et à la renom-

\* Raison pour laquelle Braudel, directeur de la collection «Nouvelle Bibliothèque Scientifique» chez Flammarion, publia l’édition princeps du présent ouvrage en 1977.

\*\* «Les cartes ne sont pas de simples illustrations. Elles restent un moyen de s’informer “visuellement”», Jacques Bertin, conférence donnée à l’université de Tours, citée par Jean-Paul Bord in «Qu’est-ce que la sémiologie graphique», 303, n° 133, novembre 2014, p. 22.

\*\*\* Gauthier-Villars/Mouton & Cie, Paris/La Haye. Écrit en 1965, la première édition paraît en 1967, suivie d’une seconde, révisée, en 1973. L’ouvrage fut ensuite réédité par les Éditions de l’EHESS en 1998 puis en 2013 (même si, pour être plus juste, ces deux dernières éditions ne sont que des réimpressions à l’identique de la version de 1973, sans refonte de mise en page).

mée internationale sur ce qui se voulait être une nouvelle science, celle de la «mise en graphique»\*\*\*\* du traitement de données – à l’heure où l’informatique n’en était qu’à ses balbutiements. Bertin substitua rapidement l’expression «sémiologie graphique» (qui désigne ce que l’on entend habituellement par «visualisation de données») par «la graphique», comme le montre le titre du présent ouvrage initialement publié en 1977 et traduit en six langues, mais qui n’a jamais fait l’objet de réédition en français jusqu’à ce jour, bien qu’il constitue la meilleure synthèse jamais écrite par Jacques Bertin sur ses recherches.

Ce n’est pas le lieu ici de récapituler l’ensemble de ces recherches, ou de schématiser les pages qui suivent. Rappelons simplement cette définition de la «graphique» (p. 176): elle «utilise les propriétés du plan pour faire apparaître les relations de ressemblance, d’ordre ou de proportionnalité entre des ensembles donnés». Nous soulignons ici le mot *relation*. Ainsi, si le graphisme est affaire de signes, la graphique est affaire de relation entre ces signes, elle repose sur trois modalités principales – la ressemblance, l’ordonnement et la proximité. «La graphique» désigne le système de signes. «Un graphique» désigne toute construction faite dans ce système, que ce soit un diagramme, un réseau ou une carte» (*Ibid.*). Quand «il y a une infinité de “bonnes” représentations» «le choix est un art. C’est le graphisme», mais parfois «le choix n’existe pas. C’est la graphique. Le graphicien est lié par les

\*\*\*\* Comme l’on parle de «mise en page».

propriétés des variables visuelles, car ces variables ne sont pas toutes visuellement ordonnées ou proportionnelles. Graphique et graphisme sont deux langages fondamentalement différents dans leur objectif. Leur confusion, qui conduit à des conventions mensongères, est la source des plus grossières erreurs graphiques».

Le travail du graphicien exige ainsi, comme le préconisait Ptolémée, une méthode permettant de cerner les *non-choix*, méthode qui n'est pas sans rappeler le plan de la *Géographie*: 1/ définir le problème (ce que l'on veut «montrer»), l'une des rares tâches non informatisables selon Bertin; 2/ définir le tableau de données, «point de départ de tout traitement de l'information», «moyen de planifier la recherche» (p. 3); 3/ adopter un langage permettant de traiter l'information, *i.e.* une transcription graphique des données dont l'objectif n'est plus de dessiner un graphique «une fois pour toutes»: «on le reconstruit (on le manipule) jusqu'au moment où toutes les relations qu'il recèle ont été perçues» (p. 5); 4/ «traiter les données, c'est-à-dire simplifier sans détruire» en «permutant les lignes, les irrégularités qu'il constate dans le désordre initial» – il n'est alors plus besoin, selon Bertin, de faire appel à une légende, «c'est-à-dire à la nature des concepts, pour découvrir l'ordre spécifique» (*Ibid.*).

En enjoignant cartographes, mathématiciens, statisticiens historiens et autres à devenir graphiciens, Bertin a visiblement anticipé les aberrations de notre XXI<sup>e</sup> siècle où, grâce à de simples ordinateurs portables (dont la puissance de calcul dépasse de loin celle

du matériel informatique de l'ancien Laboratoire de graphique), des millions d'«images» sont générées algorithmiquement, forme de *data viz* produisant des images pétries d'un *graphisme* parfois spectaculaire, mais où la *graphique* est absente, *car l'on n'y voit plus rien\**.

«La France est ingrate à l'égard de ses plus fidèles serviteurs», écrivit un anthropologue deux ans après la mort du géographe\*\*. Les travaux novateurs de Jacques Bertin, bien que jouissant d'une grande réputation dans le monde anglo-saxon, sont en effet peu à peu tombés dans l'oubli en France. Mais à la faveur des cinquante ans de la publication de la *Sémiologie graphique* et d'un projet de recherche mené à l'EHESS autour de l'œuvre de son auteur\*\*\*, la présente réédition de *La Graphique* entend participer à cet effort collectif dont le dessein est de remettre au jour une pensée essentielle sur la création et la compréhension des visualisations de données. Compte tenu de la production gigantesque d'informations crachées quotidiennement par des réseaux hyperconnectés, l'avenir n'appartient peut-être pas au graphiste, ni à l'artiste, mais bel et bien au graphicien.

Jean-Michel Gérard, Esac Cambrai,  
Alexandre Laumonier, Zones sensibles,  
Bruxelles / Cambrai, novembre 2017

\* Exception faite, par exemple, des atlas cartographiques exceptionnels réalisés par le Néerlandais Joost Grootens, dont on notera qu'il est architecte de formation (et non graphiste).

\*\* Jean Malaurie, dans «Hommage à Jacques Bertin, père de la sémiologie graphique», in *Bulletin du Comité français de Cartographie*, n°212, juin 2012 [<http://www.lecfc.fr/new/articles/212-article-5.pdf>].

\*\*\* <http://retrospective-bertin.ehess.fr>.

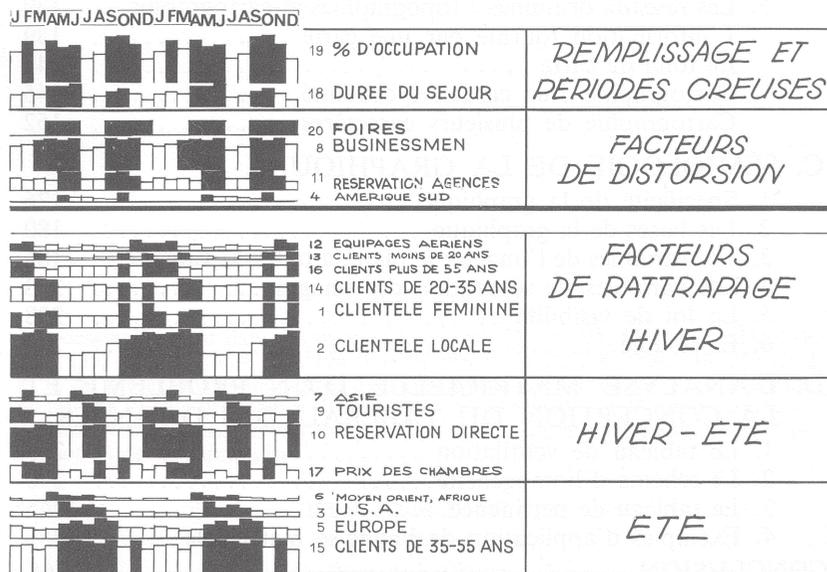
## LA GRAPHIQUE et le traitement graphique de l'information

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
26	21	26	28	20	20	20	20	20	40	15	40	1 % CLIENTELE FEMININE
69	70	77	71	37	36	39	39	55	60	68	72	2 % " " LOCALE
7	6	3	6	23	14	19	14	9	6	8	8	3 % " " U.S.A.
0	0	0	0	8	6	6	4	2	12	0	0	4 % " " AMERIQUE SUD
20	15	14	15	23	27	22	30	27	19	19	17	5 % " " EUROPE
1	0	0	8	6	4	6	4	2	1	0	1	6 % " " M.ORIENT,AFRIQUE
3	10	6	0	3	13	8	9	5	2	5	2	7 % " " ASIE
78	80	85	86	85	87	70	76	87	85	87	80	8 % BUSINESSMEN
22	20	15	14	15	13	30	24	13	15	13	20	9 % TOURISTES
70	70	75	74	69	68	74	75	68	68	64	75	10 % RESERVATION DIRECTE
20	18	19	17	27	27	19	19	26	27	21	15	11 % " " AGENCES
10	12	6	9	4	5	7	6	6	5	15	10	12 % EQUIPAGES AERIENS
2	2	4	2	2	1	1	2	2	4	2	5	13 % CLIENTS MOINS DE 20 ANS
25	27	37	35	25	25	27	28	24	30	24	30	14 % " " DE 20-35 ANS
48	49	42	48	54	55	53	57	55	46	55	43	15 % " " DE 35-55 ANS
25	22	17	15	19	19	19	19	19	20	19	22	16 % " " PLUS DE 55 ANS
163	167	166	174	152	155	145	170	157	174	165	156	17 PRIX DES CHAMBRES
1.65	1.71	1.65	1.91	1.90	2.	1.54	1.60	1.73	1.82	1.66	1.44	18 DUREE DU SEJOUR
67	82	70	83	74	77	56	62	90	92	78	55	19 % D'OCCUPATION
			X	X	X			X	X	X	X	20 FOIRES

1



2



Il était une fois un directeur de grand hôtel soucieux d'améliorer la marche de son entreprise. Il fit établir diverses statistiques. Le tableau de chiffres [1] resta de nombreux jours sur le bureau directorial.

Puis un matin le secrétaire présenta une image [2] construite d'après les chiffres du tableau. Après quelques instants d'attention le directeur fit appeler ses collaborateurs et avec eux:

- il définit une nouvelle politique des prix,
- il modifia les services offerts à la clientèle,
- il ajusta les stocks,
- il modifia le système de promotion-vente.

Enfin il termina sa journée par une visite au maire de la ville, responsable de la date des foires.

Les résultats obtenus lui assurèrent une rapide promotion.

Cet exemple montre qu'il ne suffit pas d'avoir des données, d'avoir des statistiques pour prendre une décision. Les données ne fournissent pas l'information nécessaire à la décision. Ce qu'il est nécessaire de voir ce sont les relations que l'ensemble des données construit. L'information utile à la décision est faite des relations d'ensemble.

Cet exemple montre aussi que la graphique peut faire découvrir les relations d'ensemble. C'est son but. Contrairement au graphisme, la graphique n'est pas un art. C'est un système de signes, rigoureux et simple, que chacun peut apprendre à utiliser et qui permet de mieux comprendre. Il permet donc de mieux décider.

## A. AUTOPSIE D'UN EXEMPLE

### 1. LES ÉTAPES DE LA DÉCISION

Regardons de plus près le problème du directeur de l'hôtel.  
 Il permet de schématiser les étapes de la réflexion et de la décision.  
 Il montre comment la graphique intervient dans ces étapes.  
 Il donne une forme visible au problème de l'information.  
 Il apporte le moyen de définir la construction graphique utile.

#### 1<sup>re</sup> étape : définir le problème

Le directeur souhaite améliorer la marche de son hôtel. Quelles décisions doit-il prendre? Décider c'est choisir, et choisir c'est d'abord s'informer. Il cerne son problème en posant des questions : le plein emploi de l'hôtel est-il assuré? Y a-t-il des périodes creuses? Quand? D'où viennent les clients de l'été, de l'hiver, qui sont-ils?... Le problème se définit par des questions de plus en plus simples qui permettent d'établir une liste de renseignements qu'il serait utile de connaître.

On constate que la liste des questions de base et des renseignements utiles est un pur problème d'imagination qu'aucune machine ne peut résoudre. Cette première et fondamentale étape de la décision n'est pas automatisable.

#### 2<sup>e</sup> étape : définir le tableau des données

Une limite intervient alors : celle des moyens et du temps disponibles. Va-t-on retenir toute la liste que l'on a imaginée? Va-t-on recueillir les renseignements par mois, par semaine, par jour, ce qui multiplie chaque fois le travail? Une liste de 20 caractères mensuels semble suffisante ici.

Les statistiques utiles étant délimitées en nature et en dimension, le secrétaire relève les chiffres nécessaires parmi toutes les données figurant dans les livres.

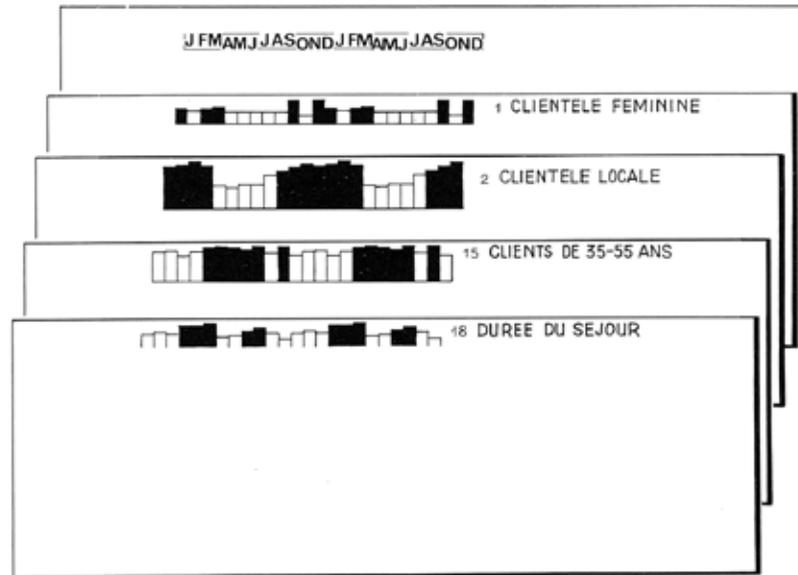
Va-t-il faire plusieurs tableaux, un pour la provenance de la clientèle, un autre pour son âge, un troisième pour les données relatives à la marche de l'hôtel, etc.? Non, il fait un unique tableau. Imaginons son raisonnement implicite : qu'est-ce qui est commun à toutes mes données? Le nombre mensuel. Je peux donc mettre les mois en abscisse (en x), je peux porter un caractère sur chaque ligne de l'ordonnée (en y) et écrire les chiffres dans les cases.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
26	21	26	28	20	20	20	20	20	40	15	40	1	% CLIENTELE FEMININE
69	70	77	71	37	36	39	39	55	60	68	72	2	% " " LOCALE
7	6	3	6	23	14	19	14	9	6	8	8	3	% " " U.S.A.
0	0	0	0	8	6	6	4	2	12	0	0	4	% " " AMERIQUE SUD
20	15	14	15	23	27	22	30	27	19	19	17	5	% " " EUROPE
1	0	0	8	6	4	6	4	2	1	0	1	6	% " " M.ORIENT, AFRIQUE
3	10	6	0	3	13	8	9	5	2	5	2	7	% " " ASIE
78	80	85	86	85	87	70	76	87	85	87	80	8	% BUSINESSMEN
22	20	15	14	15	13	30	24	13	15	13	20	9	% TOURISTES
70	70	75	74	69	68	74	75	68	68	64	75	10	% RESERVATION DIRECTE
20	18	19	17	27	27	19	19	26	27	21	15	11	% " " AGENCES
10	12	6	9	4	5	7	6	6	5	15	10	12	% EQUIPAGES AERIENS
2	2	4	2	2	1	1	2	2	4	2	5	13	% CLIENTS MOINS DE 20 ANS
25	27	37	35	25	25	27	28	24	30	24	30	14	% " " DE 20-35 ANS
48	49	42	48	54	55	53	57	55	46	55	43	15	% " " DE 35-55 ANS
25	22	17	15	19	19	19	19	19	20	19	22	16	% " " PLUS DE 55 ANS
163	167	166	174	152	155	145	170	157	174	165	156	17	PRIX DES CHAMBRES
1.65	1.71	1.65	1.91	1.90	2.	1.54	1.60	1.73	1.82	1.66	1.44	18	DUREE DU SEJOUR
67	82	70	83	74	77	56	62	90	92	78	55	19	% D'OCCUPATION
			X	X	X			X	X	X	X	20	FOIRES

Retenons l'unité du tableau des données. Le tableau unique montre que le problème est bien posé. Supposons que le secrétaire ait de plus relevé les quantités de chambres, de lits, de personnes, de réparations... par étage. Si l'on ajoute ces informations aux précédentes, l'ensemble ne peut pas être écrit sous la forme d'un unique tableau. Si l'on s'appuie sur cet ensemble pour réfléchir, on mélange deux problèmes qui n'ont aucun lien entre eux. Ceci se rencontre encore trop souvent. Le tableau unique est la preuve de l'homogénéité du problème. Il est la base consciente ou inconsciente de toute réflexion. C'est le moyen de planifier une recherche. C'est le point de départ de tout traitement de l'information. Les dimensions du tableau et la nature (ordonnée, ordonnable, topographique) de ses entrées définissent le traitement et la construction graphique appropriés.

Le tableau unique peut être matériellement impossible à construire. Comment installer sur une seule ligne les 50 millions d'habitants d'un pays? Mais rien n'empêche de l'imaginer et donc de «voir», sous forme de tableau, le problème posé. C'est l'analyse matricielle d'un problème. Elle permet d'organiser le travail.

Retenons que l'information qui précède la décision peut toujours être écrite ou imaginée sous la forme d'un unique tableau de chiffres (cardinaux, ordinaux ou 0, 1, à l'exclusion de tout nom ou adjectif dans les cases). Ce sera notre référence constante au long de ce livre.



### 3<sup>e</sup> étape: adopter un langage de traitement

Le tableau des données est resté de nombreux jours sur le bureau du directeur. C'est sans doute que sa lecture était malaisée, qu'elle ne faisait pas apparaître les informations c'est-à-dire les rapports utiles à la réflexion et à la décision.

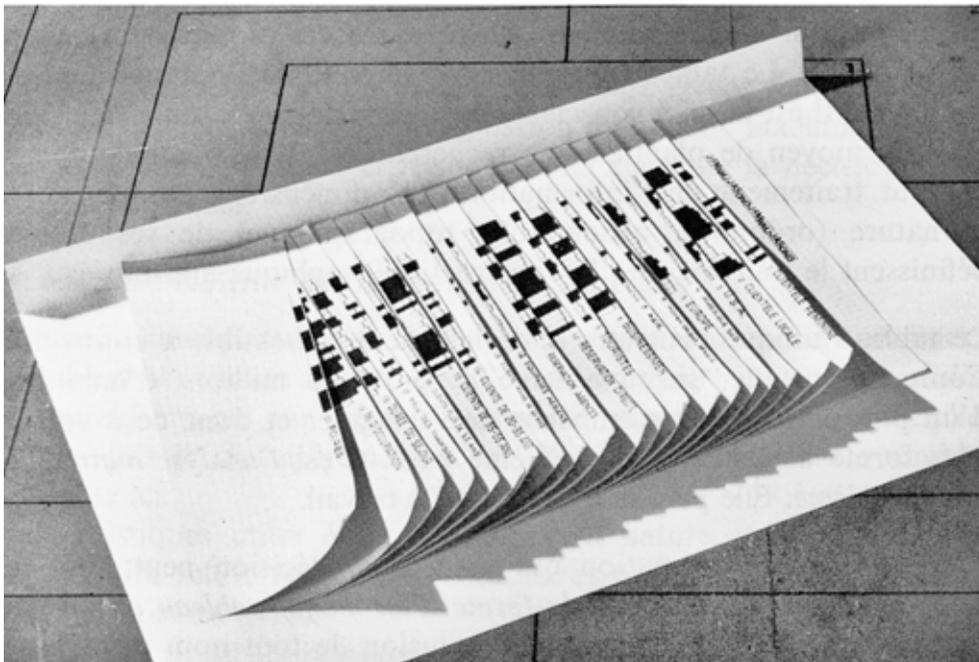
En effet, la lecture d'un tableau de chiffres ne fournit qu'une suite linéaire de détails. Les rapports, les similitudes que ces détails entretiennent entre eux ne peuvent apparaître que dans la mémoire, sans qu'il soit possible d'être assuré de les avoir tous entrevus. De plus ils apparaissent d'autant plus difficilement que les données sont nombreuses, et l'on sait pourtant que l'étendue des données est un gage de crédibilité.

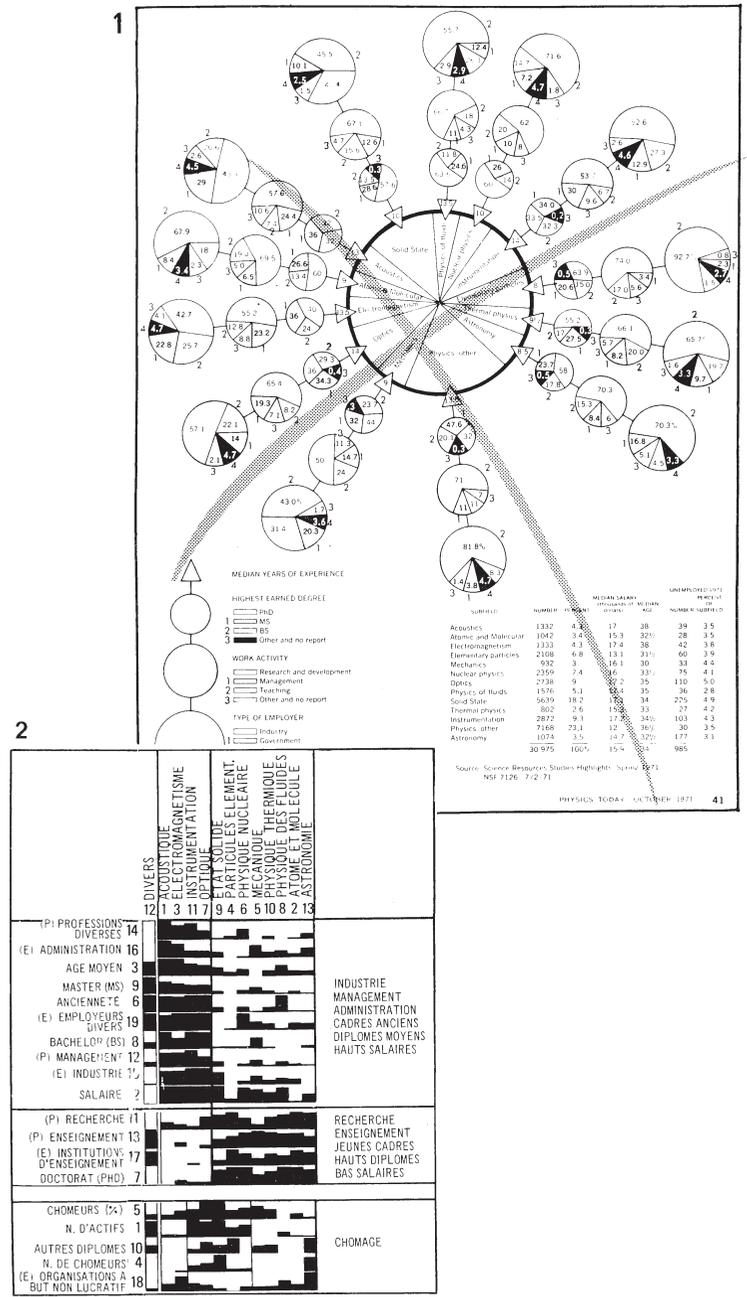
Que fait alors le secrétaire? Économe de ses efforts mais néanmoins soucieux d'efficacité, il s'assure, par *la transcription graphique*, de la possibilité de faire apparaître toutes les similitudes. Mais il prend deux précautions essentielles:

*Il s'assure de l'efficacité visuelle maximum.* Il transforme chaque ligne de chiffres en un profil. Il poche en noir les mois dont le chiffre dépasse la moyenne annuelle, pour faire apparaître clairement les variations. Il construit deux fois les douze mois, pour qu'une périodicité éventuelle ne risque pas d'être scindée et d'échapper à l'attention.

*Il s'assure de la mobilité de l'image.* Il construit chaque profil sur une fiche séparée (fichier-image). Ainsi il ne dessine qu'une seule fois chaque profil mais il reste libre de classer les profils de différentes manières et de construire différentes images à partir du même dessin.

Ce point est fondamental. C'est la mobilité interne de l'image qui caractérise la graphique moderne. On ne «dessine» plus un graphique une fois pour toutes. On le «construit» et on le reconstruit (on le manipule) jusqu'au moment où toutes les relations qu'il recèle ont été perçues. Les possibilités pratiques de manipuler les éléments d'un diagramme sont nombreuses. Le moyen employé par le secrétaire est simple et à la portée de tous. Lorsque la permutation des lignes et des colonnes est nécessaire il existe des matériels spécialisés. Mais il ne faut pas oublier que l'on est au temps de l'ordinateur et de l'écran cathodique et que toute manipulation peut maintenant être commandée en appuyant sur un bouton.





### La mesure des constructions inutiles

#### La mesure

Les niveaux de l'information permettent de mesurer avec précision l'efficacité des multiples formules graphiques imaginables. Combien de temps faut-il pour définir les groupes formés par x et par y? Plusieurs heures ne suffisent pas dans de nombreux cas et la réponse est impossible lorsqu'il faut mémoriser un grand nombre d'informations élémentaires. La construction normale par contre fournit une réponse quasi instantanée.

*L'efficacité d'une construction graphique s'exprime par le niveau de la question qui reçoit une réponse instantanée.* Hors des constructions normales, la plupart des constructions quelconques ne fournissent de réponse visuelle qu'au niveau élémentaire de l'information.

#### Mais qu'est-ce que la construction normale?

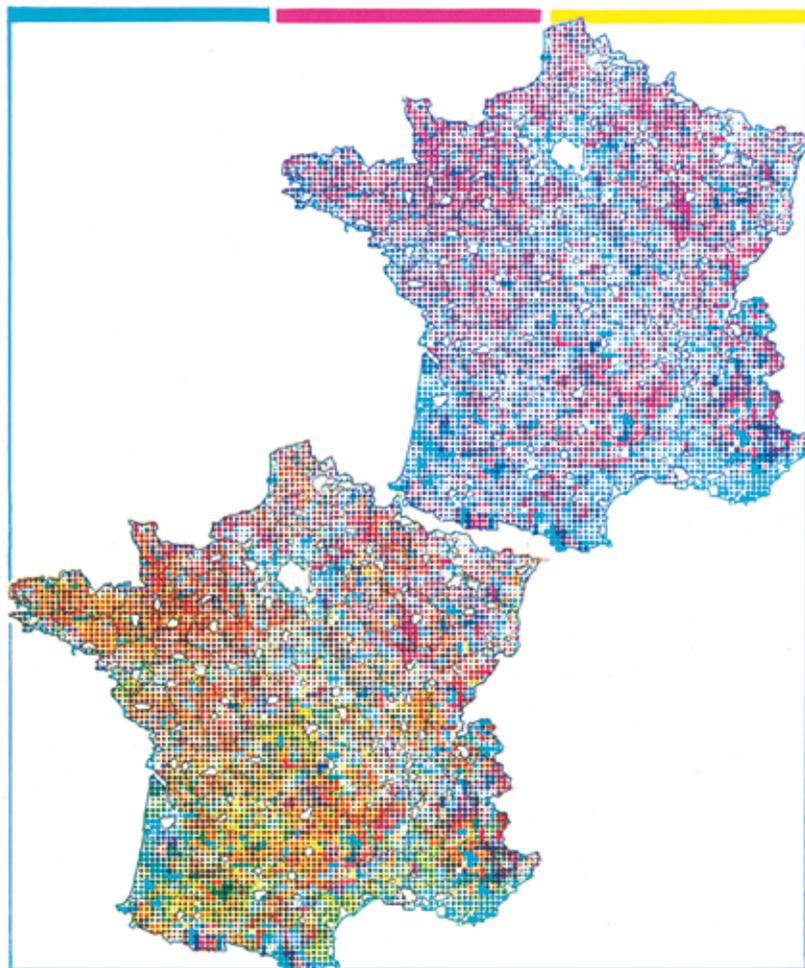
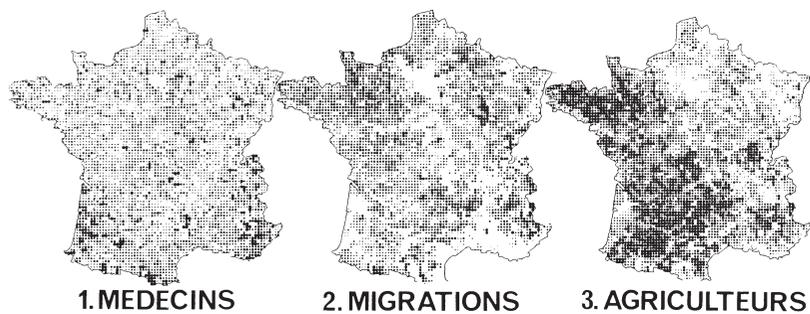
C'est tout simplement la construction matricielle c'est-à-dire une construction xy qui calque le tableau des données, mais à condition :

- 1° que les nombres soient transcrits en z par une variation visuelle ordonnée du blanc au noir ou du petit au grand ;
- 2° que les lignes et/ou les colonnes soient reclassées pour faire apparaître les groupements.

Comment en effet prendre connaissance d'un ensemble de données, comment a fortiori découvrir les groupements que ces données construisent en x et en y et qui sont le but de toute l'opération, quand le dessinateur a disloqué les deux entrées du tableau? En voici un exemple.

#### Une construction inutile

Le diagramme [1] illustre un article intitulé « Les orientations de la physique aux USA ». De quoi s'agit-il? Le lecteur peut-il seulement poser une question pertinente? Ce diagramme est du niveau élémentaire. Et pourtant l'information qu'il contient n'est pas sans intérêt. La construction normale [2] montre qu'aux USA l'industrie, l'administration, les cadres anciens, les petits diplômés... et les hauts salaires vont ensemble et réservent les bas salaires à la recherche, l'enseignement et les hauts diplômés. Mais elle montre aussi que le chômage obéit à un tout autre partage. C'est ce que nous révèle le niveau d'ensemble de l'information lorsque tout devient comparable. Une fois ce niveau atteint, toute information élémentaire devient intéressante, soit comme témoin de la tendance générale, soit comme exception. (voir p. 41.)



Mais, en même temps, l'œil est libre de s'installer à un quelconque niveau d'une variable ordonnée ou quantitative. Il est donc libre de « généraliser » c'est-à-dire de régionaliser comme il l'entend.

– Elle admet de très fortes réductions, pour la même raison que ci-dessus. Elle permet donc de constituer des collections facilement manipulables.

– Elle exclut les problèmes de normalisation. En effet elle se suffit d'une variation du blanc au noir. Et pour les variables quantitatives, toutes les études aboutissent à un seul système : les cercles proportionnels, ponctuels ou en semis régulier.

– Elle est aisément automatisable. Elle n'est donc pas onéreuse tout en étant souple et rapide. Elle ne pose donc pas de problèmes graphiques de mise à jour.

– Elle ne pose pas de problèmes d'édition et l'on peut même faire apparaître une carte sur un écran cathodique et la faire disparaître sans pour autant la fixer sur un papier, puisqu'on peut toujours la faire réapparaître.

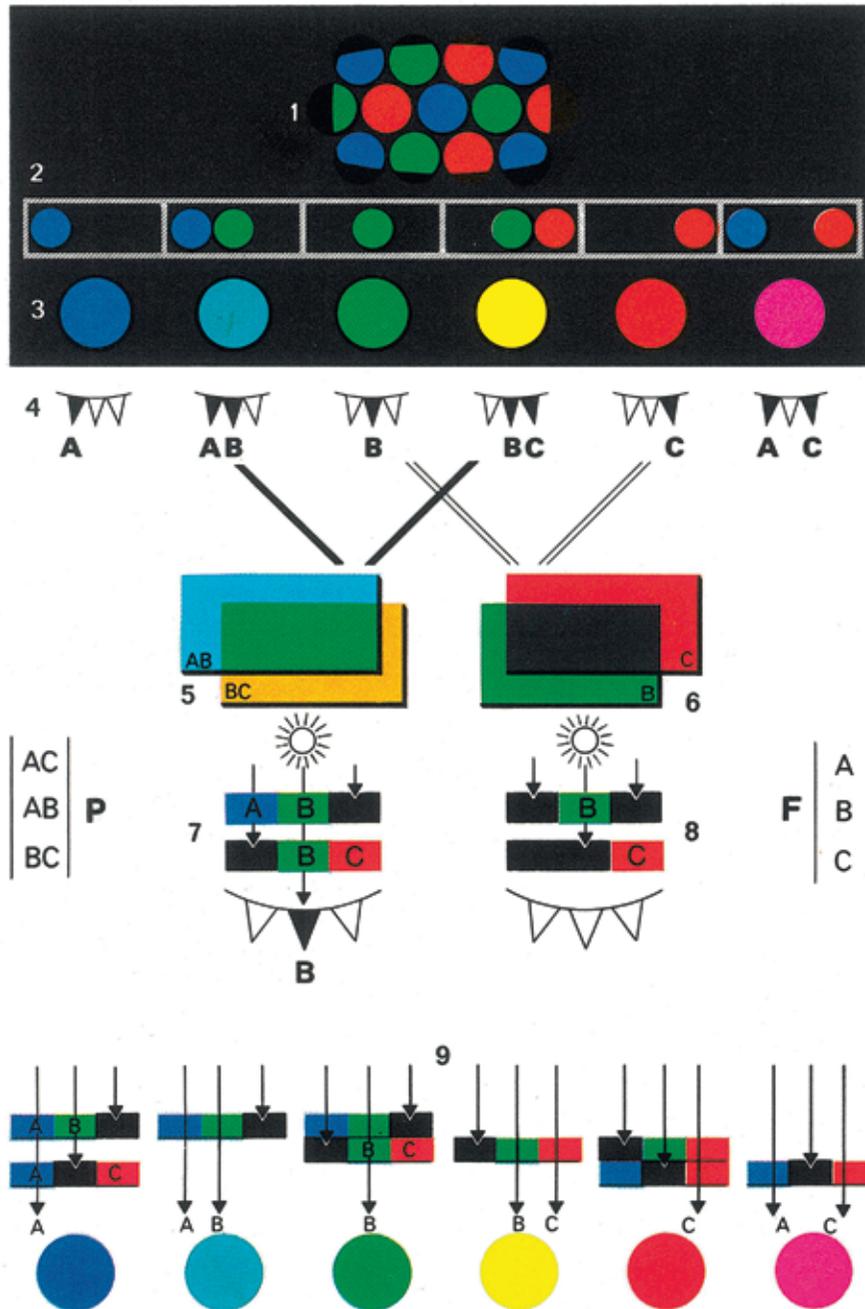
– Enfin et surtout elle n'est pas limitée en nombre de variables. Et l'on sait que la science moderne pose le problème de la corrélation entre un nombre de variables de plus en plus grand, des centaines et bientôt des milliers. Ce seul fait suffirait à expliquer le développement des collections de cartes à une variable.

#### Recherche de la « carte de synthèse ». A. Procédure trichromatique

La collection de cartes ne répond pas à la question « à tel endroit, qu'y a-t-il ? ». Mais des cartes à la même échelle peuvent se superposer trois par trois. Il suffit de les transcrire sur trois films en couleurs : bleu-cyan, jaune, rouge-magenta\*. Les films « Colorkay » par exemple permettent de faire soi-même cette transcription. Soit les cartes [1] [2] [3] ci-contre, en % de la population. Leur comparaison visuelle est difficile. Mais la superposition (1 + 2) montre instantanément qu'il y a corrélation inverse entre médecins et migrations. Une corrélation directe donnerait une carte violette. Or on ne voit que du rouge ou du bleu.

La superposition trichromatique (1 + 2 + 3) permet de délimiter les régions définies par la combinaison des trois caractères. On constate que l'œil est ainsi capable de faire quasi instantanément la synthèse de  $7000 \times 3 = 21000$  informations environ.

\* Toute autre couleur, et par exemple un rouge ou un bleu quelconque, rend la synthèse impossible (p. 217).



## La variation de couleur

La variation de couleur est très sélective. Mais pas plus que les autres variables visuelles elle ne peut assurer une sélectivité complète.

### Qu'est-ce que la couleur?

La théorie de Maxwell donne une explication simple de la plupart des observations que l'on peut faire. Tout se passe comme si la rétine était tapissée, entre autre, de trois types de cellules: les cônes A, B et C. Lorsque les trois types sont également excités on voit « blanc ». Mais lorsque le type A par exemple est moins excité que les autres, on voit « jaune ». Ainsi la couleur est un déséquilibre dans l'excitation des cônes.

Un écran de télévision en couleur comporte trois sortes de points: bleu, vert, rouge [1] même lorsque le film est en noir et blanc. La lumière blanche est donc bien l'excitation uniforme des trois cônes A, B, C.

- Lorsque l'écran est bleu, les points verts et rouges sont presque invisibles [2]. Les cônes B et C ne sont pas excités [4].

- Lorsque l'écran est jaune, les points bleus sont presque invisibles et les points verts et rouges remplissent tout l'écran. Le cône A n'est pas excité.

En parcourant la combinatoire, six cas se construisent [2] qui correspondent aux six couleurs [3]. Dans les six cas il manque au moins l'une des trois couleurs de l'écran de télévision. Les couleurs perçues sont dites « saturées » [4].

Une couleur est saturée quand au moins un des trois cônes n'est pas excité. Inversement la « désaturation » est tout simplement l'excitation, même très réduite, du 3<sup>e</sup> cône.

### Couleurs « fondamentales », couleurs « primaires »

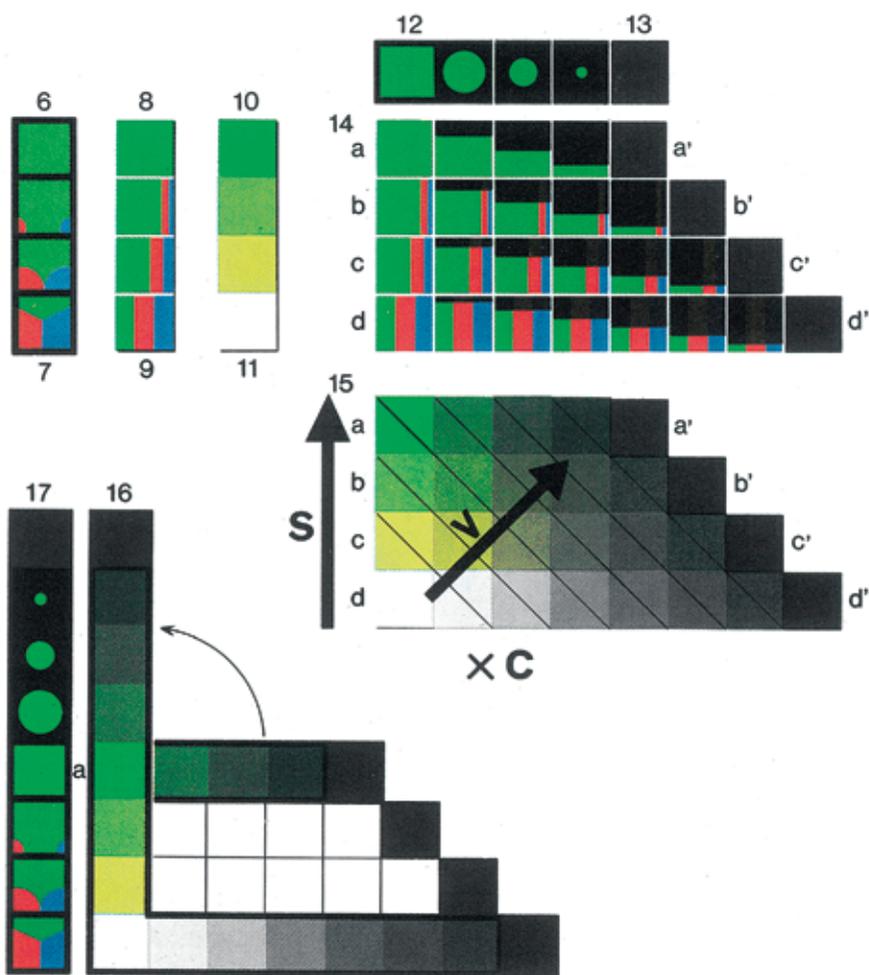
Une couleur est donc l'occultation d'un ou deux types de cônes. C'est un écran. Un écran pour deux cônes est une couleur « fondamentale (F) »: bleu, vert, rouge. Un écran pour un cône est une couleur « primaire (P) »: cyan, jaune, magenta.

La différence est simple... et essentielle.

Superposer deux couleurs, c'est superposer deux écrans. Si chacun n'occulte qu'un seul cône, le troisième n'est pas occulté et l'œil voit une couleur, [5] et [7]. Par contre si chacun occulte deux cônes, les trois cônes sont occultés, et l'œil voit du « noir », [6] et [8]. En fait, l'occultation n'est jamais totale et l'œil voit un gris brunâtre. En conséquence:

- les trois « primaires », qui n'occultent qu'un cône, peuvent se superposer et recréer, en principe, toute la combinatoire des impressions colorées [9]. Inversement:

- les trois « fondamentales », qui occultent deux cônes, ne peuvent pas se superposer. Mais si elles se juxtaposent de telle sorte que l'œil ne puisse pas les séparer (disque de Newton par exemple, ou écran de télévision) l'œil les additionne et voit les couleurs résultantes.



### Couleur et saturation

*Le nombre des couleurs saturées est infini.* Dans un écran de télévision « parfait », le passage du bleu saturé [1] au vert saturé [2] est un continuum. Tous les intermédiaires sont saturés puisque le troisième cône, sensible au rouge, est occulté. C'est ce que représente le schéma [3], dont la forme cyclique peut être exprimée par le triangle de Maxwell [4].

*Désaturation de la couleur.* Soit un vert saturé [6]. On peut le faire devenir de plus en plus « blanc » pour aboutir au blanc sans aucune coloration. Ajouter du blanc c'est en fait ajouter la, ou les deux excitations qui manquent. C'est passer de [6] à [7]. C'est la désaturation de la couleur, que l'on peut schématiser par [8] → [9]. Cette désaturation de la couleur est, sur un écran de télévision, indépendante de la valeur. Un « vert » ou un « bleu » peut être aussi lumineux qu'un « blanc ».

Mais il n'en est pas de même sur un papier blanc. Il faut alors parler de la *valeur* c'est-à-dire de la distance par rapport au blanc.

### Saturation et valeur

Sur un papier blanc, la désaturation du vert correspond au dégradé [10] → [11]. Le vert devient de plus en plus *clair*.

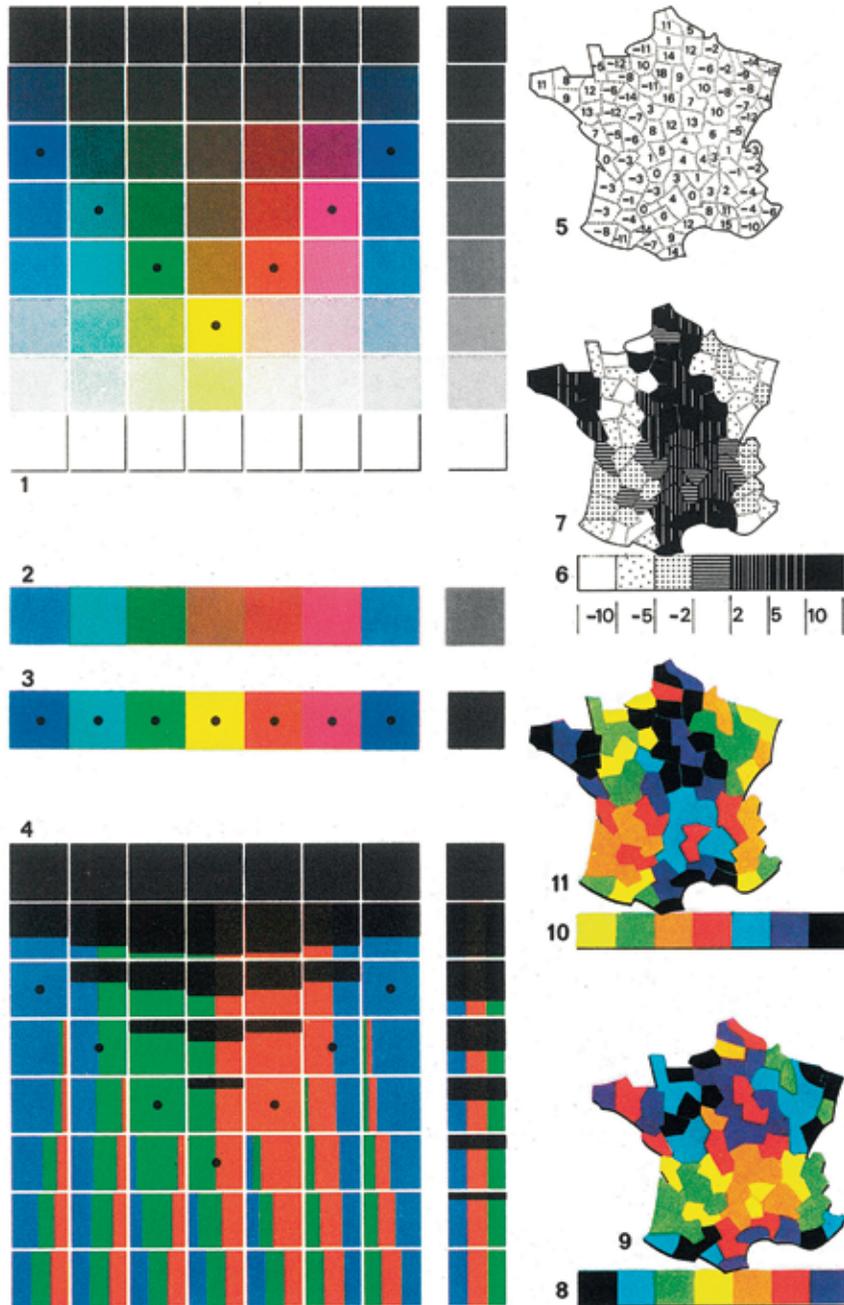
Le même vert [12] peut aussi devenir de plus en plus *foncé*; [12] → [13] pour arriver au « noir ». Cette progression est schématisée par (14 a → a') et correspond au dégradé (15 a → a'). Il en est de même de chacun des niveaux désaturés b, c du vert et aussi du blanc d, qui peuvent progresser jusqu'au noir b', c', d'. L'ensemble des dégradés du vert est schématisé par [14] et [15].

Ces figures permettent de séparer les trois dimensions de la couleur.

1. - Le nombre des *couleurs* est infini [3].
2. - La *saturation* d'une couleur donnée progresse de d à a.
3. - Sur un papier blanc, et pour une couleur donnée, la *valeur* progresse du blanc au noir suivant la flèche V [15].

### Réduction à un système à deux dimensions

Dans la graphique, la couleur est utilisée pour sélectionner les images. On s'éloigne donc autant que possible des gris et l'on exclut en général l'ensemble des tons dont la coloration disparaît dans les grisailles. On exclut en fait la partie centrale de la figure [15] et l'on ne conserve que la progression [16] dans chaque couleur. Cette progression va du blanc au noir en passant par la couleur saturée (a) qui, sur le papier blanc, correspond à la couleur « pure », non « salie » de noir.



### Couleur et valeur

L'exclusion des grisailles permet de construire le tableau [1].\* Il souligne trois observations essentielles en graphique.

- *Les couleurs pures offrent la meilleure sélectivité.* En effet, plus on s'éloigne de ces couleurs, marquées d'un point, plus les tons tendent vers les grisailles.

- *Les couleurs pures n'ont pas toutes la même valeur.* En effet les couleurs pures tracent un V dans le tableau [1]. Hors du jaune, il y a toujours deux couleurs qui ont la même valeur et l'œil les voit *semblables* avant de les voir différentes.

Considérons par exemple l'information [5]. Transcrite par des valeurs [6] elle fournit l'image [7] c'est-à-dire une image nord-sud. Transcrite par l'ordre du spectre [8] elle fournit [9] c'est-à-dire une image est-ouest. On peut constater qu'il n'est pas possible d'abstraire cette orientation. Tout se passe comme si l'œil assimilait les deux extrémités du spectre dans une même unité perceptive, opposée à l'unité formée par les couleurs centrales. Or les extrémités sont foncées tandis que les couleurs centrales sont claires (8 et 3).

- *La perception des valeurs domine la perception des couleurs* et par exemple un bleu et un rouge de même valeur sont d'abord semblables avant d'être différents. Si cette proposition est vraie, la légende qui ordonne les couleurs suivant leur valeur [10] doit fournir une image conforme à la distribution de l'information. C'est ce que confirme l'image [11]. C'est aussi la confirmation des observations de la page 186. En conséquence :

1° *Les couleurs sélectives varient avec la valeur.* Pour les valeurs claires, la meilleure sélectivité est obtenue dans les vert, jaune, orange. Pour les valeurs foncées elle est obtenue dans les rouge, bleu, violet [1].

2° *Dans l'ordre du spectre, les couleurs pures créent deux ordres visuels* et la transcription d'un ordre par des couleurs suivant l'ordre spectral perturbe l'information [9]. Dans les cartes en courbes (isolignes), cette perturbation peut disparaître car les deux extrémités du spectre ne sont jamais mélangées.

3° *À égalité de valeur, les couleurs ne sont pas visuellement ordonnées* [2]. Elles ne peuvent donc pas représenter une information ordonnée.

\* Le tableau [4] montre la part théorique de chacun des trois cônes A, B, C dans les tons du tableau [1].

PRINCIPAUX EXEMPLES CITÉS

La gestion d'un hôtel, Fichier-image 12 × 20	1
Les orientations de la physique aux USA en 1971. Matrice 19 × 13	14 et 40
Les prix dans 31 villes du monde en 1970. Matrice 129 × 31	42
Hydro-météorologie sibérienne. Matrice d'interpolation 100 × 52	48
La fréquentation d'un parc de loisir. Matrice d'interpolation 54 × 32	51
La classification de Mendeleïef. Matrice pédagogique 83 × 27	53
Le chapiteau ionique. Matrice 82 × 78	54
Classement des vases archaïques chinois. Scalogrammes 17 × 16	58
Le commerce des pays du Comecon. Matrice pondérée 7 × 4	60
L'industrie électrique européenne. Matrice pondérée 7 × 4	66
Données statistiques sur les loisirs. Matrice pondérée 23 × 25	68
Les cycles de culture. Fichier-image 13 × 17	72
Étude du comportement animal. Fichier-image 96 × 12	75
La dimension des exploitations agricoles en Provence. Fichier-image 1000 × 9	81
Les pyramides des âges, par région, en France. Fichier-image 22 × 8	85
Les ouvriers d'une usine. Fichier-matrice 250 × 12	86
Une enquête sur l'audio-visuel dans l'enseignement. Fichier-matrice 200 × 31	89
Les cours des changes. Éventail 216 × 23	95
Évolution de la fécondité en Europe. Courbes arithmétiques superposées	95
Le trafic du port de Paranagua au XIX <sup>e</sup> siècle. Éventail 131 × 86	97
Mouvements démographiques au XVII <sup>e</sup> siècle. Collection de tableaux	124
Portraits de chasseurs esquimaux. Collection de tableaux	124
Les chansons populaires. Collection de tableaux	127
L'exode rural. Réseaux	133
Les échanges financiers dans une économie de marchés. Réseau	133
Doit-on conserver la forme « arborescente » ? Réseau	133
Les constitutions françaises. Réseaux	137
Prix du terrain dans la France de l'Est. Cartes	146
Secteurs primaire, secondaire, tertiaire en France. Cartes	152
Cycles de culture dans un terroir africain. Cartes	157
Les matières premières de l'industrie chimique aux USA. Cartes	159
Exploitation d'une collection de cartes	161
Agriculteurs, migrations, médecins. Cartes	164
Planification écologique à Toulon	164
Typologie de 100 communes des Ardennes. Cartes	166
Urbanisation d'un village. Carte	168
Évolution des chaires de physique entre 1700 et 1761. Cartes	169
Cartes ethniques	170
Cartes des arbres, dans un terroir africain	172
Pluies et forêts au Congo. Carte	174-175
La production de la viande dans le marché commun. Matrice 5 × 5	195
Élections présidentielles de 1965 en France. Cartes	210
Coopératives rurales en Espagne. Carte	224
La table des matières d'un annuaire statistique	260
Analyse matricielle d'une étude d'histoire sociale : l'alphabétisation	262

INDEX

Agrégation des données, 19, 253, 254*	Communication (Graphique de), 11, 16, 22, 59, 89, 154, 167.
Ajustement linéaire ( <i>Linear smoothing</i> ), 95, 115, 121.	Composante ( <i>Component</i> ) 19, 184, 186, 235.
Anaglyphes, 151.	Concentration (courbe de), 100, 109.
Analyse des données ( <i>Data analysis</i> ), 19, 233...	Construction circulaire, 14, 105, 111, 117, 153, 155, 193.
Analyse factorielle ( <i>Factor analysis</i> ), 21, 47, 251.	Construction circulaire (Réseaux), 129.
Analyse matricielle ( <i>Matricial analysis</i> ), 3, 16, 184, 233...	Construction inutile, 15, 195.
Analyse trichromatique, 163, 222.	Construction matricielle, 15, 24, 28, 101, 192, 195.
Arbre ( <i>Tree</i> ), 131.	Construction triangulaire, 113, 121, 124.
Associativité, 213, 215, 231.	Corrélation (diagramme de), 24, 28, 101, 107, 113, 119, 192.
Automatisme, ordinateur, 2, 7, 9, 21, 35, 47, 65, 161, 211, 249, 251.	Couleur, 28, 163, 186, 217... 231.
Bornes d'une série ( <i>Bounds</i> ), 201...	Couples stéréoscopiques ( <i>Stereoscopic pairs</i> ), 151.
Caractère ( <i>Characteristic</i> ), 19, 25, 27, 101, 140, 203, 251, 255.	Courbe de niveau, d'égalité, isolignes ( <i>Level curve, isoline</i> ), 143, 151.
Cartes, 29, 139...	Courbe cumulative, 105.
Cartes à lire, à voir ( <i>To read, to see</i> ), 147...	Critique, 264.
Cartes de synthèse ( <i>Synthetic map</i> ), 163...	Croisements de variables ( <i>Intersection</i> ), 236...
Cartes par maille (« <i>Grid map</i> » or « <i>Mesh map</i> »), 145, 165 (5-6).	Chronique (chronogramme), 91, 115...
Cartographie de repérage (« <i>Mark Cartography</i> ») 155, 168... 225...	Diagramme, 15, 18, 33, 192, 195.
Cartographie thématique, polythématique, 140.	Différence/Ressemblance, 176, 221, 225.
Cartographie topographique, 141, 143.	Discours d'interprétation, 185.
Cartographie de traitement de l'information ( <i>of data processing</i> ), 155, 161...	Distribution (diagramme de) 25, 28, 101, 103..., 115, 200.
Cartogramme, 155.	Dissociativité, 197, 231.
Centièmes, 190.	Domino (matériel), 35, 43, 49, 55, 75, 167.
Cercle (Diagramme en), 14, 105, 111, 117, 153, 155, 193.	Échelle arithmétique, 91, 95, 117.
Cercles proportionnels, 199, 205...	Échelle logarithmique, 91, 93, 117, 119, 121, 128, 229.
Chronogramme (chronique), 91, 115...	Échelle gaussienne, 229.
Classe, 19, 105, 107, 109, 149, 203.	Échelle commune, propre, 211.
Collection (de cartes), 115, 155..., 193.	Échelle extensive, 209.
Collection (de courbes), 90...	Échelle des paliers en z, 184, 188, 199... 201, 205, 208.
Collection (de tableaux), 124..., 193, 263.	Échelle des tailles, 184, 188, 199, 205...

\* En italique : renvoi principal.

- Échelle des valeurs, 184, 188, 199, 200...  
Éventail de courbes (*Fan of curves*), 90...  
Exhaustivité (*Comprehensivity*), 16, 22, 154, 157.  
Extremum, 201...
- Fiche statistique (*Statistical card*), 89, 243.  
Fichier-image (*Image-card-index*), 28, 71...  
Fichier-matrice (*Matrix-card-index*), 28, 86...  
Fond de carte (*Base map*), 141.  
Forme (variation de) (*Shape*), 171, 174, 186, 213, 225.
- Gamme des cercles proportionnels (*Scale of proportional circles*), 205, 208.  
Généralisation cartographique, 145.  
Grain (variation de) 83, 149, 174, 215.  
Graphes (mathématique des), 129.  
Graphisme, 176, 225.  
Grille de points (*Grid of dots*), 207.  
Groupements, 7, 11, 180, 183, 185, 230, 265.
- Homogénéité (schéma d') 17, 163, 234, 241, 251, 257,  
Hypothèse, 12, 19, 246.
- Identification externe, interne, 177, 225.  
Image, 21, 180, 185, 213.  
Implantation (ponctuelle, linéaire, zonale) (*Punctual, linear, zonal*), 149, 171, 188, 197, 207, 223, 225.  
Imposition, 129, 192.  
Inconnues (données), 49, 51, 239, 256.  
Indicateur, 19.  
Indice (*index*), 190.  
Information interne, externe, 9, 20, 139, 265.  
Information élémentaire, d'ensemble (*Overall*) 11, 180, 213, 264.  
Information exhaustive, simplifiée, 16, 22, 154, 157.  
Information utile, 11, 15, 195.  
Isoligne, Isopleth, 151.  
Interpolation, 18, 49, 51, 239, 256...  
Interprétation, 9, 16, 20, 23, 41, 47, 57, 66, 77, 85, 185, 252, 264.  
Inventaire des composantes, 19, 235.
- Lois de la graphique, 183.
- Linéaire (implantation), 149, 188, 207, 215, 223.
- Manipulations, 7, 15, 33, 38... 125, 159, 187, 195.  
Matériel de manipulation, 5, 35, 70, 89.  
Mathématique, 20, 129, 178, 233, 265.  
Matrice (constructions matricielles), 15, 24, 28, 101, 192, 195.  
Matrice d'interprétation, 57, 89, 167, 185.  
Matrice ordonnable (*Orderable matrix*), 29, 33... 167.  
Matrice pondérée (*Weighted matrix*) 29, 61...  
Matrice zéro, 36, 43, 48, 54.  
Millièmes, 190.  
Monosémie, 176, 179.  
Moyenne, 109, 203, 229.
- Niveaux de l'information (*Information levels*) 11, 180, 213, 264.  
Niveaux de lecture, 11, 180, 213.  
Niveaux des questions 11, 180, 213.  
Niveaux de réduction, 267.  
Nombres ordinaux, 239.  
Normalisation des signes conventionnels, 225.
- Objet statistique, 17, 19, 25, 28, 184, 249.  
Objet matériel, 139, 231.  
Ordinateur (voir automatisme).  
Ordonnable ( $\neq$ ) ordonnée (O) (composante) (*Orderable, ordered*), 20, 28, 33, 71, 91, 147, 186, 231.  
Organigramme, 136.  
Orientation (Variation d'), 122 [7], 169, 171, 186, 223.
- Paliers (*Steps*), 35, 36, 65, 184, 197, 199... 215.  
Perception, 176, 180, 199, 221.  
Permutations, 5, 7, 15, 33, 38...  
Pertinence, 12, 19, 152, 157, 199, 202, 234, 245...  
Perspectives, 151.  
Plan, 186, 188...  
Polysémie, 176, 179.  
Ponctuelle (implantation), 149, 171, 174, 188, 207, 215, 223, 225.  
Pourcentages, 45, 61, 63, 85, 190, 245, 249.  
Probabilité, improbabilité, 48, 63.  
Profil, 5, 39, 229, 249.  
Projections (en cartographie), 141.
- Proportionnalité, 177, 188, 197.  
Propriété (des variables visuelles), 177, 186, 213, 231.  
Pyramide des âges (*Population pyramid*), 85.
- Quantités, caractère quantitatif, 90, 147, 181, 189, 197, 205, 213.  
Questionnaire, 89, 251, 264.
- Rapports, ratio, 190, 199, 205.  
Réduction de l'information, 12, 77, 180, 219, 265.  
Relations d'ensemble, 1, 13, 27, 181, 183.  
Relief (en cartographie), 141, 151.  
Répartition (diagramme de), 26, 103... 200.  
Repérage (carte de) («*Mark Map*») 155, 226.  
Reproduction, reprographie, 35, 36, 145, 215.  
Réseaux (*Networks*), 28, 129... 183, 192.  
Réseaux ordonnés = topographies.  
Ressemblance, différence, 176, 221, 225.
- Saturation de la couleur, 217.  
Scalogramme, 58.  
Schéma d'homogénéité, 18, 23, 240, 251, 255.  
Sélection visuelle, 123, 168, 213, 221, 225... 232.  
Semis (*Seed-bed*), 128..., 207.  
Seuil (*Threshold*), 181, 227.  
Signe, 176, 226.  
Simplification, 6, 9, 20, 23, 66, 155.  
Simplification du fond de carte, 145.  
Simplification d'un réseau, 129.  
Sondage (*Sampling*), 19, 87, 251, 256...  
Spectre des couleurs, 221.  
Stéréoscopies, 151.
- Superposition d'images, de tableaux, 101, 109, 123, 140, 152, 163..., 182, 215, 217.  
Symbole, 228.  
Synoptique des constructions graphiques, 28, 101, 233.  
Systèmes, 6, 38, 41, 56, 85.
- Tableau à double entrée (*Table of double entry*) 193.  
Tableau de pertinence, 19, 234..., 245.  
Tableau de ventilation, 19, 235..., 260.  
Tableau des paliers en z, 36.  
Tableau ordonné, 101, 123, 193 [13].  
Taille (variation de) (*Size*), 147, 186, 197, 205..., 213.  
Taux, 190.  
Terminologie, 19, 101.  
Texture, 149, 215.  
Thermographies, 223.  
Topographies, 28, 33, 139, 141, 192.  
Traitement graphique, 16, 18, 20, 22, 31... 251.  
Traitements multidimensionnels (*Multivariate analysis*), 18, 251.  
Trames (*Screen*), 215.
- Valeur (variation de) (*Value*), 149, 151, 165, 174, 186, 197, 213, 219, 231.  
Variables visuelles, 177, 186..., 213, 232.  
Ventilation (tableau de) (*Apportionment table*) 19, 235..., 260.  
Visibilité, 199, 211, 229.
- Zonale (implantation), 149, 174, 188, 207, 215, 223.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>A. AUTOPSIE D'UN EXEMPLE</b>	
1. Les étapes de la décision	2
2. Le but de la graphique : un niveau supérieur de l'information	11
L'information utile	11
Les niveaux de l'information	12
La mesure des constructions inutiles	15
3. Les trois formes successives de l'intervention graphique	16
L'analyse matricielle d'un problème	17
Le traitement graphique de l'information	20
La graphique de communication	22
Plan de l'ouvrage	22
<b>B. LES CONSTRUCTIONS GRAPHIQUES</b>	
1. Le synoptique des constructions graphiques	24
2. Les matrices de permutation	32
La matrice ordonnable	32
La matrice pondérée	60
Le fichier-image	70
Le fichier-matrice	86
L'éventail de courbes	90
3. Les tableaux ordonnés	100
Tableaux à 1, 2, 3 caractères	100
Superpositions et collections de tableaux	123
4. Les réseaux ordonnables	129
5. Les réseaux ordonnés : topographies et cartographie	139
L'information fournie par une carte	139
Le fond de carte	141
Cartographie d'un caractère ordonné	145
Cartographie de plusieurs caractères	152
<b>C. SÉMIOLOGIE DE LA GRAPHIQUE</b>	
1. Spécificité de la graphique	176
2. Les bases de la graphique	180
3. Les variables de l'image : le plan, la taille, la valeur	186
4. Les variables de séparation des images	213
5. La loi de visibilité	228
6. En résumé	230
<b>D. L'ANALYSE MATRICIELLE D'UN PROBLÈME ET LA CONCEPTION DU TABLEAU DES DONNÉES</b>	
1. Le tableau de ventilation	235
2. Le schéma d'homogénéité	240
3. Le tableau de pertinence	245
4. Exemples d'application de l'analyse matricielle	251
<b>CONCLUSION</b>	264

Les dessins figurant dans les pages 14, 54, 56, 72, 80, 94, 126, 127, 128, 131, 132, 135, 137, 146, 170, 171, 196 (1 et 2), 204 (1 et 2), 206, 208, 210, 229 (1, 2 et 3) du présent livre ont été publiés dans la *Sémiologie Graphique* de J. Bertin, éditée par Mouton & Gauthiers-Villars en 1967 (et rééditée par les Éditions de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales en 1999). Nous remercions ces éditeurs de nous avoir aimablement donné l'autorisation de les reproduire.