

# CARTOGRAPHIE & DEVELOPPEMENT

DECADE

MINISTERE DES  
RELATIONS EXTERIEURES  
COOPERATION ET  
DEVELOPPEMENT

*Le groupe de travail et de réflexion DECADE tire son nom des mots décision, cartographie, développement ; il s'est constitué en 1979 à l'instigation du Ministère de la Coopération et du Développement afin de diffuser l'idée cartographique auprès des preneurs de décision. Fonctionnant comme un carrefour d'échanges et de valorisation de l'information cartographiée, le groupe DECADE a réuni les différents partenaires concernés par la restitution visuelle de l'information ; chercheurs, techniciens, preneurs de décision.*

*La dispersion des efforts d'acquisition et de traitement de l'information, la faible proportion dans laquelle entre leur utilisation dans l'élaboration des choix de politique nationale, les difficultés croissantes de contrôle de l'information ont conduit le groupe DECADE à s'interroger sur la recherche et les techniques cartographiques afin que soit améliorée la maîtrise des données pour le développement.*

# **CARTOGRAPHIE ET DÉVELOPPEMENT**

Tous droits d'adaptation, de traduction et de reproduction, par tous procédés y compris la photographie et le microfilm réservés pour tous pays.  
© Ministère des Relations Extérieures, Coopération et Développement, 1983.

ISBN 2-11-084803-0

DÉCADE

groupe de travail et de réflexion  
sur la cartographie au service de la décision

1984

# **CARTOGRAPHIE ET DÉVELOPPEMENT**

**mémento de cartographie  
à l'usage de la planification et de l'aménagement**

Le groupe de travail et de réflexion DECADE (DECision-CARTographie-DEveloppement) réunit, dans un cadre pluri-institutionnel, des décideurs, des techniciens et des chercheurs des différentes disciplines concernées par la diffusion de l'*idée cartographique* et sa mise à disposition des opérations de développement.

Son secrétariat est financé par le Ministère des Relations Extérieures, Coopération et Développement, Paris, France.

Cet ouvrage est le produit d'un travail collectif auquel ont participé :

Jacques BARRUOL, ingénieur géologue  
Jacques BERTRAND, géographe-cartographe  
Huguette BERTRAND, géographe-cartographe  
Jean CARRÉ, ingénieur géographe  
Jean COMBROUX, cartographe  
Gérard DANDOY, géographe  
Roland DEVAUGES, sociologue †  
Jean-Louis GINNSZ, ingénieur civil du Génie Rural  
Luc de GOLBERY, géographe  
Bernard KIENTZ, agronome  
Alain LALAU-KERALY, économiste  
Georges LAMARQUE, cartographe  
Philippe LAUNEY, géologue  
Michel LENCO, statisticien environnementaliste  
Marie-Claude LORTIC, photographe-téléanalyste  
Michelle PAIN, géographe  
Yveline PONCET, géographe  
Françoise VERGNEAULT, géographe-cartographe  
Daniel ZIMMER, pédologue

avec la collaboration de :

Alain AUGER, Edmond BERNUS, Marc BIED-CHARRETON, Anne-Marie BRIEND, Jacques BODICHON, Jacques CERUSE, Michel CASSE, Marie-Françoise COUREL, Raymond DELAVIGNE, Brigitte DITNER, Jean-Paul DUCHEMIN, Bokar KALOGA, Jean KILIAN, Jean KOEHLIN, Danielle LAIDET, Patrick LEGRAND, Olivier LEO, Jean-Yves MARCHAL, Auguste MORI, Dominique PETER, Michel PORTAIS, Didier PRINCE, Pierre-Yves REVILLON, Patrice ROEDERER, Jean-Pierre ROSSELLI, Bernard TOUTAIN, Michel TRAZET, Michelle TRIBALAT, Pierre VERNEUIL, Bernard VINCENT, Georges de WISPELAERE.

Coordonné par

Yveline PONCET et Alain LALAU-KERALY

Les jugements et opinions exprimés dans cet ouvrage sont ceux des membres du groupe DECADE et n'engagent en rien les organismes auxquels ils appartiennent.

DECADE remercie, pour les facilités qu'ils ont apportées à la réalisation de ce travail, les organismes suivants :

Banque Mondiale  
Bureau de Développement de la Production Agricole (BDPA)  
Bureau de Liaison des Agents de Coopération Technique (BLACT)  
Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)  
Centre d'Études du Machinisme Agricole, du Génie rural et des Eaux et Forêts (CEMAGREF)  
Centre National d'Études Spatiales (CNES)  
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)  
Centre de Perfectionnement pour le Développement et la Coopération Économique et Technique (CPDCET)  
Centre Technique Forestier Tropical (CTFT)  
Comité Français de Cartographie  
Délégation à la Qualité de la Vie, Ministère de l'Environnement  
École des Hautes Études en Sciences Sociales, laboratoire graphique de l'EHESS  
Groupe de Recherche et d'Échanges Technologiques (GRET)  
Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Île-de-France (IAURIF)  
Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux (IEMVT)  
Institut Français pour le Développement en Coopération (Orstom) (anciennement Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer)  
Institut Géographique National (IGN)  
Institut National d'Études Démographiques (INED)  
Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)  
Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE)  
Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières (IRAT)  
Intergeo  
Société Matra Division Optique  
Ministère des Relations Extérieures, Coopération et Développement  
Service de Documentation et de Cartographie géographiques  
Société Française d'Études et de Recherches Économiques et Statistiques (SFERES)

# Sommaire

AVANT-PROPOS .....	9
<b>PREMIÈRE PARTIE : INTRODUCTION MÉTHODOLOGIQUE .....</b>	<b>15</b>
CHAPITRE 1. LA CARTOGRAPHIE : PRINCIPES ET TECHNIQUES .....	17
1. Le traitement graphique de l'information .....	17
1.1. Les principes de base .....	17
1.2. L'analyse des données : le tableau à double entrée .....	17
1.3. La transcription des données : les variables visuelles .....	18
1.4. La construction de l'image, le traitement graphique de l'information .....	19
1.5. Les différents types de traitement graphique .....	19
2. Quelques précautions techniques .....	20
2.1. Le format et l'échelle .....	20
2.2. Les indispensables annexes de la carte .....	20
2.3. La reproduction et les supports .....	21
2.4. Le cas particulier des cartes issues des systèmes informatisés .....	22
CHAPITRE 2. LA CARTOGRAPHIE DES DONNÉES QUANTITATIVES .....	23
1. Saisie de l'information : analyse et critique des données recueillies .....	23
1.1. Les recensements .....	24
1.2. Les inventaires statistiques .....	24
1.3. Les enquêtes par sondage .....	24
2. Restitution de l'information .....	25
2.1. La restitution en valeurs absolues .....	25
2.2. Les valeurs absolues rapportées à une surface .....	26
2.3. La cartographie des ratios .....	27
2.4. La préparation d'une enquête statistique aux fins de cartographie .....	27



<b>DEUXIÈME PARTIE : LES OUTILS DE LA CARTOGRAPHIE</b> .....	29
<b>CHAPITRE 1. LES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES</b> .....	31
1. Saisie de l'information .....	32
2. Restitution de l'information .....	33
2.1. Présentation standard .....	33
2.2. Assemblage (mosaïque sommaire) .....	34
2.3. Mosaïque contrôlée .....	34
2.4. Orthophotographie .....	34
3. Maîtrise et utilisation de l'information .....	35
3.1. La lecture préliminaire .....	35
3.2. La lecture stéréoscopique .....	35
3.3. La photo-interprétation .....	35
4. Les applications de la photo-interprétation .....	38
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>Un exemple d'interprétation de photographies aériennes au Congo (CTFT)</b> .....	40
<b>CHAPITRE 2. LA TÉLÉDÉTECTION SPATIALE</b> .....	43
1. Saisie de l'information .....	43
2. Restitution de l'information .....	45
3. Maîtrise et utilisation de la télédétection spatiale .....	46
3.1. Maîtrise de la télédétection spatiale .....	46
3.2. Utilisation de la télédétection spatiale .....	47
4. Annexe .....	48
4.1. Satellites météorologiques et océanographiques .....	48
4.2. Satellites des ressources terrestres .....	49
4.3. Les données radar .....	49
4.4. Organismes d'information et de diffusion .....	50
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>Une image Météosat</b> .....	52
<b>CHAPITRE 3. LES DONNÉES LANDSAT</b> .....	55
1. Saisie de l'information .....	56
1.1. Le radiomètre .....	56
1.2. Les stations de réception .....	56
1.3. L'état de l'atmosphère .....	57
2. Restitution de l'information .....	57
2.1. Les données numériques .....	57
2.2. Les données photochimiques .....	57
3. Maîtrise et utilisation des données Landsat .....	58
3.1. Maîtrise de l'information .....	58
3.2. L'utilisation des données Landsat .....	59
3.3. Données Landsat et photographies aériennes .....	59
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>Une image en composition colorée (IGN)</b> .....	62

CHAPITRE 4. LA CARTOGRAPHIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR : L'INFOGRAPHIQUE . . .	65
1. L'infrastructure . . . . .	65
1.1. L'« unité de campagne » . . . . .	66
1.2. Une unité spécialisée . . . . .	66
2. Saisie de l'information : la mise en œuvre du traitement infographique . . . . .	67
2.1. La saisie des données de base . . . . .	67
2.2. La saisie des fonds de carte . . . . .	68
3. La restitution cartographique . . . . .	69
3.1. La restitution ponctuelle . . . . .	70
3.2. La restitution zonale . . . . .	71
3.3. La restitution linéaire . . . . .	71
4. Maîtrise et utilisation de l'information : l'exemple du laboratoire de micro-infographique de Hyderabad (Inde) . . . . .	72
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>Cartes des surfaces pluri-irriguées, État d'Andhra-Pradesh, Inde . . . . .</b>	<b>76</b>
<b>TROISIÈME PARTIE : LA CARTOGRAPHIE D'INVENTAIRE . . . . .</b>	<b>81</b>
CHAPITRE 1. LA CARTE TOPOGRAPHIQUE . . . . .	83
1. Saisie de l'information . . . . .	83
2. Restitution de l'information . . . . .	84
3. Maîtrise et utilisation de l'information . . . . .	85
3.1. L'utilisation directe . . . . .	85
3.2. L'utilisation indirecte . . . . .	86
3.3. Le « suivi » des cartes topographiques : mise à jour et changement d'échelle . . . . .	86
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>Carte de l'Afrique de l'Ouest, feuille Gao (IGN) . . . . .</b>	<b>88</b>
CHAPITRE 2. LA GÉOLOGIE . . . . .	91
1. Saisie de l'information . . . . .	92
1.1. La documentation préalable . . . . .	92
1.2. Les travaux de terrain . . . . .	93
1.3. Les travaux de laboratoire . . . . .	94
2. Restitution de l'information . . . . .	94
2.1. L'échelle de restitution . . . . .	94
2.2. Les cartes géologiques classiques . . . . .	95
3. Maîtrise et utilisation de l'information . . . . .	96
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>1. Carte géologique commune au Togo et au Bénin . . . . .</b>	<b>98</b>
<b>2. Carte des gîtes minéraux de la République du Sénégal (BRGM) . . . . .</b>	<b>100</b>

CHAPITRE 3. LA PÉDOLOGIE .....	101
1. Saisie de l'information .....	102
1.1. La nature de l'information pédologique .....	102
1.2. L'échelle de la carte et la quantité d'information saisie .....	102
1.3. Le stockage de l'information .....	104
1.4. Exemples de démarches de saisie de l'information .....	104
2. Restitution des données .....	104
2.1. Synthèse ou analyse ? .....	104
2.2. Dénomination des unités cartographiques .....	105
2.3. Les unités pédologiques et leurs limites .....	106
3. Maîtrise et utilisation des cartes pédologiques .....	107
3.1. La carte de reconnaissance des sols de Haute-Volta .....	107
3.2. La carte de la région de Mogtéo (Haute-Volta) .....	107
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>1. Carte pédologique de reconnaissance de la Haute-Volta (Orstom) .....</b>	<b>109</b>
<b>2. Carte des ressources en sols de la Haute-Volta (Orstom) .....</b>	<b>109</b>
CHAPITRE 4. LES CARTES DE VÉGÉTATION .....	113
1. Saisie de l'information .....	113
2. Restitution de l'information .....	114
3. Maîtrise et utilisation de la carte écologique .....	116
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>Carte des ressources fourragères, République de Haute-Volta (IEMVT) .....</b>	<b>118</b>
CHAPITRE 5. LA RÉPARTITION DE LA POPULATION .....	121
1. Saisie de l'information démographique .....	121
2. Restitution de l'information : les cartes de répartition de la population .	122
2.1. La carte de répartition de la population par points .....	122
2.2. Les cartes de densité de la population .....	123
2.3. La représentation cartographique de la structure de la population .	124
2.4. La représentation cartographique des indices démographiques rendant	
compte des mouvements de population .....	124
3. Maîtrise et utilisation des cartes de répartition de la population .....	125
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>1. Localisation de la population, Côte d'Ivoire (Orstom) .....</b>	<b>126</b>
<b>2. Densité de la population rurale, Côte d'Ivoire (Orstom) .....</b>	<b>126</b>
<b>QUATRIÈME PARTIE : LA CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE .....</b>	<b>129</b>
CHAPITRE 1. LA CARTOGRAPHIE MORPHO-PÉDOLOGIQUE .....	131
1. Saisie de l'information .....	132
1.1. Les principes d'élaboration de la carte du potentiel des unités physiques	132
1.2. Les sources d'information utilisées .....	132

2. Restitution de l'information . . . . .	133
2.1. La délimitation des unités physiques . . . . .	133
2.2. La classification des unités physiques . . . . .	133
3. Maîtrise et utilisation de la carte . . . . .	134
3.1. L'utilisation de la carte pour l'élaboration d'un indice des potentialités <i>par unité physique</i> . . . . .	134
3.2. Calcul d'un indice de potentialité <i>par commune</i> à partir de l'indice par unité physique . . . . .	135
3.3. Établissement de cartes analytiques sur les excédents ou déficits de densité en fonction de l'indice des potentialités par commune . . . . .	135
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>Carte des conditions géographiques de la mise en valeur agricole de Madagascar (Orstom)</b>	136
CHAPITRE 2. LES CARTES D'APTITUDES . . . . .	139
1. Saisie de l'information . . . . .	139
2. Restitution de l'information . . . . .	141
3. Maîtrise et utilisation de l'information . . . . .	142
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>Cartographie des savanes favorables à la reforestation (Congo)</b> . . . . .	144
CHAPITRE 3. OCCUPATION ET UTILISATION DU SOL . . . . .	147
1. Saisie de l'information . . . . .	147
1.1. Les données de la télédétection . . . . .	148
1.2. Les enquêtes sur le terrain . . . . .	148
1.3. Les cartes existantes . . . . .	149
2. Restitution de l'information . . . . .	149
2.1. Le problème de la mise à jour . . . . .	149
2.2. Le problème des échelles de restitution . . . . .	150
3. Maîtrise et utilisation de l'information : un exemple de cartographie d'utilisation du sol . . . . .	151
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>Carte des cultures et de la végétation naturelle d'Haïti</b> . . . . .	152
CHAPITRE 4. LA CARTOGRAPHIE URBAINE . . . . .	155
1. Saisie de l'information . . . . .	156
1.1. Le cadastre urbain . . . . .	156
1.2. Les photographies aériennes et la télédétection spatiale . . . . .	156
1.3. Les données statistiques et les enquêtes sur le terrain . . . . .	157
2. Restitution de l'information . . . . .	157
2.1. Cartes et plans . . . . .	157
2.2. La restitution automatisée . . . . .	158
3. Maîtrise et utilisation de l'information . . . . .	158
3.1. Les cartes thématiques classiques . . . . .	158
3.2. Les synthèses socio-économiques . . . . .	159
3.3. Les cartes d'aptitudes et d'impact en milieu urbain . . . . .	160
<b>FICHE TECHNIQUE :</b>	
<b>Le recueil cartographique de Brazzaville (Congo)</b> . . . . .	161

<b>CINQUIÈME PARTIE : ANNEXES</b> .....	165
1. Glossaire .....	167
2. Documents d'information et ouvrages cités .....	175
2.1. Liste alphabétique par auteurs .....	175
2.2. Ouvrages collectifs .....	176
3. Adresses utiles .....	177
3.1. Les institutions implantées en France .....	177
3.2. Organismes internationaux .....	181

# Avant-propos

Le groupe de travail et de réflexion DECADE, qui tire son nom des trois mots DEcision, CARtographie, DEveloppement, s'est constitué en 1979 à l'instigation du Ministère de la Coopération et du Développement avec l'objectif de diffuser *l'idée cartographique* auprès des preneurs de décision.

Fonctionnant comme un carrefour d'échanges et de valorisation de l'information cartographiée, le groupe DECADE réunit en France les différents partenaires : chercheurs, techniciens, preneurs de décision, concernés par les problèmes de restitution visuelle de l'information.

La dispersion des efforts d'acquisition et de traitement de l'information, la faible proportion dans laquelle leur utilisation entre dans l'élaboration des choix de politique nationale, les difficultés croissantes de contrôle de l'information (en particulier dans les pays du tiers-monde) ont conduit le groupe DECADE à s'interroger sur le thème « la recherche et les techniques cartographiques » comme outil d'intégration pour une meilleure maîtrise de l'information.

Le groupe de travail et de réflexion a examiné un certain nombre de travaux cartographiques réalisés à la demande de responsables des politiques d'aménagement du territoire des pays en voie de développement, en confrontant notamment les besoins implicites et explicites exprimés par eux, et la nature des réponses formulées par les cartographes. A la lumière de cet examen, il est apparu qu'une plus grande transparence des méthodes d'acquisition et de restitution graphique de l'information s'imposait, de façon à améliorer la maîtrise des données sur le développement par ceux-là mêmes qui sont chargés de le promouvoir.

*Cartographie et Développement* présente ainsi, sous forme d'études de cas relevant des principales disciplines impliquées dans l'inventaire des ressources et des besoins, les avantages et les limites de la restitution cartographique de l'information sur le développement.

Par sa structure et son contenu, le document vise à répondre au souci du planificateur de réaliser l'allocation optimale des facteurs de production, en s'efforçant de promouvoir l'idée de la *localisation* et, par conséquent, de la *visualisation* des ressources et des contraintes à la mise en œuvre des programmes. La substitution du traitement graphique aux tableaux de données statistiques offre notamment à la prise de décision une dimension spatiale globalisante plus proche de la perception qu'ont les sociétés de leur environnement et de leur devenir.

L'introduction de la dimension spatiale dans l'élaboration de politiques de développement correspond à la volonté exprimée généralement aujourd'hui de contribuer au recentrage du processus de développement en identifiant notamment les contraintes et les blocages que rencontrent les acteurs sociaux dans leur tentative de maîtrise de l'espace au sein duquel ils s'inscrivent.

C'est ainsi, par exemple, que l'analyse des systèmes agraires passe par une première étape de repérage d'un espace animé par sa logique propre de fonctionnement, pour laquelle les supports visuels et plus particulièrement la cartographie se révèlent être le principal outil. Cette phase a pour but de mettre en évidence l'*hétérogénéité* des situations géographiques et notamment les *inégalités régionales* de développement. Elle vient compléter l'information essentiellement sectorielle dont disposent les planificateurs dans la détermination de leurs objectifs de production.

## Le dialogue décideur-cartographe

Pour évaluer l'intérêt de la traduction cartographique d'une information, il convient cependant de faire une étude des besoins réels et de la demande d'information exprimés par le décideur.

En général, c'est au planificateur qu'incombe la responsabilité de maîtriser l'information technique épars indispensable aux choix politiques. Si la comptabilité nationale lui fournit les données relatives aux grands équilibres macro-économiques, l'information sur les stratégies et comportements des différents acteurs économiques répartis sur l'ensemble du territoire national ne peut s'exprimer, en revanche, sous forme agrégée et ne devient utile qu'une fois localisée.

A ce titre, seule une représentation visuelle de cette information donne au planificateur la possibilité d'une lecture synthétique et simultanée des diverses potentialités ou contraintes qu'il importe de prendre en considération dans l'élaboration des choix politiques. La cartographie joue alors un rôle important dans la rationalisation et dans la simplification de ces choix.

Mais la visualisation de l'information n'est pas essentielle pour les seuls décideurs, elle intervient également au niveau de la production de l'information, en amont du processus de planification : *Cartographie et Développement* a donc été élaboré dans le but de consolider ou d'instaurer un dialogue entre les producteurs d'information que sont les chercheurs et les techniciens des différentes disciplines et l'utilisateur qui décide des politiques à mettre en œuvre.

L'éventail des thèmes cartographiés recouvre les préoccupations d'inventaire descriptif des ressources en même temps que celles de synthèse prospective propres toutes deux à la démarche de planification. C'est pourquoi les études de cas retenues se situent souvent dans la gamme des *échelles moyennes* de cartographie, de 1/100 000 à 1/1 000 000, qui correspondent en général aux espaces que traitent la planification et l'aménagement du territoire, c'est-à-dire aux ensembles régionaux fractions du territoire national, aux « pays ».

Pour la même raison, *Cartographie et Développement* se doit de considérer les problèmes plus spécifiquement liés à la présentation visuelle de l'information. En s'adressant au planificateur, chargé de réaliser l'interface entre les producteurs et les utilisateurs de l'information, le document ne peut faire l'économie d'une réflexion sur des problèmes tels que le degré d'interprétation et de synthèse que doit offrir une carte pour demeurer compatible avec l'objectivité nécessaire au choix politique : certains planificateurs préfèrent commander directement aux rédacteurs cartographes des informations synthétiques déterminant les espaces et les modalités de leur aménagement (cartes d'aptitudes, de potentialités, de contraintes) ; d'autres se réservent l'opportunité de l'interprétation et de l'intégration des données de base et utilisent eux-mêmes les cartes de ressources et d'inventaires. *Cartographie et Développement* devait également étudier l'intérêt qu'il y a à cartographier certains thèmes pour lesquels une autre forme de présentation pourrait être retenue (éléments de démographie, climat, certains équipements...), plus aisément lisibles sous forme de tableaux et de diagrammes ; enfin il devait se pencher sur les modalités d'une rédaction cartographique « simplifiée », rapidement disponible et reproductible à coût modéré.

La plupart de ces problèmes relèvent en fait de l'adéquation entre les besoins en documents cartographiques et les réalisations effectives. En effet, la carte peut être un produit fini, issu d'une recherche et d'une réflexion spécifiques ou un instrument de base pour des travaux ultérieurs ; elle peut même être l'un et l'autre. Selon son contenu, elle peut être simple illustration d'un texte écrit ou démonstration instantanée remplaçant plusieurs pages de texte.

En tant que produit fini, la carte peut être une *carte d'inventaire*, de description, où l'information est restituée de façon brute, où elle n'est ni croisée ni « digérée » ; elle peut être également une *carte de synthèse* dans laquelle sont prises en compte des considérations de mise en valeur d'un espace, d'aménagement du territoire, etc. C'est la volonté de préciser les avantages mais aussi les écueils de tel ou tel type de représentation cartographique qui a présidé à l'élaboration de cet ouvrage.

On y insiste en particulier sur les dangers d'une production cartographique inadéquate aux exigences de la planification comme sur ceux d'une simplification abusive de l'information cartographiée. De la même façon qu'un architecte suit les travaux après avoir réalisé les plans, pourquoi n'en serait-il pas ainsi entre preneur de décision et rédacteur cartographe ?

## Une pertinence nouvelle de l'information

*Cartographie et Développement* vise ainsi à faciliter la maîtrise, par les responsables de la décision, des informations concernant leur espace d'intervention de façon à rendre les choix politiques à la fois plus faciles et mieux justifiés.

C'est dans cette perspective que *Cartographie et Développement* aborde à la fois les techniques simples telles que « la main et le papier » et des techniques plus sophistiquées telles que celles qui accompagnent la télédétection spatiale et la cartographie assistée par ordinateur.

La mise en place à Cuiaba (Brésil), à Hyderabad (Inde), à Ouagadougou (Haute-Volta), etc., de centres d'acquisition et de traitement des données de télédétection spatiale démontre à quel niveau il faut considérer le processus d'appropriation des informations concernant le développement. Le projet de micro-infographie d'Hyderabad (Inde), décrit dans l'un des chapitres ci-dessous, illustre l'intérêt de fournir des éléments de réflexion sur la cartographie assistée par ordinateur et il rappelle l'utilité de développer, à côté de l'échange d'informations Nord-Sud qui est en place aujourd'hui, la circulation Sud-Est de l'information scientifique et technique.

*Cartographie et Développement* se présente donc comme le produit d'une réflexion sur les méthodes de saisie et de traitement visuel menée *dans les pays développés* sur la base de travaux de cartographie effectués *dans les pays en voie de développement*. Loin d'être un « catalogue », il doit permettre d'amorcer la réflexion dans ces pays afin que s'instaure un nouveau dialogue pour un échange d'informations scientifiques et techniques dépouillé de la notion dominante de transfert de savoir.

Un recensement des travaux existants, ainsi que des potentialités et des véritables besoins en matière d'information, doit être entrepris aujourd'hui afin de réduire la dépendance à l'égard des fournisseurs d'informations et d'évaluer les capacités nationales d'un recentrage des processus de production et de maîtrise de l'information en général, de l'information cartographique en particulier.

## L'organisation de *Cartographie et Développement*

La structure de *Cartographie et Développement* répond tout d'abord aux préoccupations du planificateur concerné par les problèmes d'aménagement du territoire.

En répondant à la question *où ?* et *quoi ?*, la restitution cartographique de l'information sur l'environnement physique, économique et humain contribue à promouvoir l'idée d'un développement centré sur un espace déterminé plutôt que celle d'une croissance économique purement sectorielle. L'instrument cartographique participe ainsi de *l'approche globale et pluridisciplinaire* des conditions de développement, approche dont manquent cruellement les divers plans de développement fondés uniquement sur les données chiffrées et leur agrégation.

Cet ouvrage est donc composé de chapitres consacrés à l'état actuel des approches cartographiques dans les principales disciplines de la connaissance des milieux naturels et humanisés. Le rappel des techniques graphiques et cartographiques et de leurs limites n'est cité que pour éclairer le processus de rédaction et il s'appuie sur une série d'études de cas, *illustrations plutôt que citations exemplaires* d'une démarche.

Le plan de *Cartographie et Développement* tente de reproduire la chronologie de la démarche du planificateur qui *inventorie* d'abord les thèmes d'information dont il a besoin, puis organise la saisie et le traitement de cette information en fonction d'une utilisation précise. On a ainsi distingué une *cartographie d'inventaire* qui localise les ressources et s'intéresse aux données de base sur l'environnement naturel, humain et économique, d'une *cartographie de synthèse* plus complexe et dont l'objet est davantage lié aux exigences de l'aménagement spatial du territoire.

*Cartographie et Développement* s'ouvre sur une *introduction méthodologique* dans laquelle sont citées quelques solutions techniques à des problèmes que rencontre couramment, quand il aborde la cartographie, le preneur de décision aussi bien que le chercheur, l'étudiant, le statisticien...

Le premier chapitre de cette introduction méthodologique brosse à grands traits le caractère particulier de la cartographie en citant les principes fondamentaux de la *science graphique* et introduit quelques principes techniques couramment observés. Le second chapitre aborde la technique cartographique mise à la disposition du statisticien afin de permettre à ce dernier d'exploiter sous cette forme les données — généralement abondantes — dont il dispose.

L'analyse des méthodes et des principes appliqués à la rédaction des cartes thématiques serait incomplète sans l'examen des *outils spécifiques* à l'acquisition et à la restitution de l'information cartographiée.

Ces outils, qui sont souvent cités au cours des chapitres suivants dans leurs usages particuliers à telle discipline, sont traités en détail dans la deuxième partie. On y trouve les chapitres consacrés aux *photographies aériennes* et à la *télédétection spatiale*. Les premières sont une source d'information irremplaçable par leur facilité d'utilisation et elles sont devenues d'usage courant depuis une trentaine d'années. La seconde a fait une apparition récente dans le monde de l'information ; ses données sont d'un usage plus délicat et posent entre autres le problème des technologies nécessaires à leur emploi efficace. Parmi les données de la télédétection spatiale, une place a été faite, sous la forme d'un chapitre séparé, à celles du satellite *Landsat*, particulièrement adaptées à l'acquisition d'informations utiles au développement dans les pays vastes et peu pourvus en moyens. Un chapitre est consacré à la *cartographie assistée par ordinateur* (souvent appelée de façon impropre « cartographie automatique ») qui ouvre un champ très prometteur au traitement de l'information sous une forme rapide et parfaitement adaptée aux demandes des preneurs de décision grâce aux fichiers informatisés.



Dans la troisième partie, *la cartographie d'inventaire*, sont traitées les cartes appartenant aux disciplines considérées comme descriptives et explicatives du milieu naturel et du milieu humanisé. Les *cartes topographiques* ont la première place : de leur précision dépend celle de nombreuses autres cartes et le repérage sur le terrain de tous ceux qui y travaillent ; elles constituent à proprement parler l'inventaire des éléments remarquables du paysage, c'est-à-dire une description des éléments naturels de la surface de la terre et de quelques-uns des résultats visibles de la présence et des activités humaines.

Viennent ensuite deux disciplines distinctes, mais dont les cartographies présentent des points communs. La *géologie* et la *pédologie* cherchent à *comprendre* la disposition et la genèse d'éléments qui ne se voient pas à la surface de la terre avant de les *décrire* : la démarche qui restitue sous forme de cartes l'information géologique et l'information pédologique est donc particulièrement complexe.

Les cartes de *végétation* en revanche restituent des éléments qui se voient, qui se dénombrent et qui peuvent être analysés par une mise en relation avec des éléments identifiés et décrits par d'autres disciplines (éléments du sol, éléments du climat, interventions humaines...) ; l'étude de la végétation introduit alors celle de la présence humaine puisque l'homme intervient aujourd'hui très largement dans la répartition des espèces végétales à la surface de la terre.

Le cinquième chapitre de cette partie traite précisément de la *répartition de la population*, en termes de localisation et de densité d'un « facteur de production », occupant et modifiant le territoire.

Dans la quatrième partie de *Cartographie et Développement*, intitulée *la cartographie de synthèse*, apparaissent, par croisement des informations issues des cartes précédentes, les notions de *contraintes* et de *dynamique* : contraintes susceptibles d'entraver la réalisation d'orientations théoriques ; dynamique conduisant à la notion d'évolution et de prospective, de gestion et de protection d'un patrimoine. Dans cette partie, ce ne sont plus par disciplines distinctes que sont traités les modes de cartographie, mais par types d'association, qui conduisent à des types de cartes spécifiquement destinées au développement.

Les travaux cartographiques qui y sont présentés ont pour but de renseigner plus précisément le preneur de décision sur les potentialités d'un territoire, sur son utilisation, sur ses aptitudes. Les études de cas sont ici plus détaillées et plus nombreuses, elles constituent même l'essentiel de certains chapitres.

Moins courante que la carte pédologique, mais souvent considérée par le preneur de décision comme satisfaisante pour ses besoins spécifiques, la *carte morpho-pédologique* intègre aux concepts de la pédologie des éléments concrets sur le milieu naturel et sur le milieu humanisé qui conduisent à la notion de potentialité agricole ou pastorale d'un territoire et à une classification évolutive traduisible immédiatement en termes d'utilité, en termes *opérationnels*.

Davantage encore que les cartes morpho-pédologiques, les *cartes d'aptitudes* intègrent les besoins exprimés du preneur de décision en fonction de sa demande et de ses objectifs, les éléments du milieu naturel et souvent les éléments du milieu humain nécessaires à l'élaboration d'une classification de l'espace en fonction de sa capacité à contribuer à la réalisation d'un objectif précis.

Les *cartes d'occupation et d'utilisation du sol* sont réunies en un seul chapitre : elles traitent plus particulièrement de tous les aspects de l'intervention humaine directe et indirecte en intégrant les éléments visibles et explicables du paysage aux éléments économiques, sociaux et même historiques propres aux communautés humaines. De ces cartes sont issus les découpages géographiques en zones homogènes et classées, auxquelles peuvent s'appliquer des programmes de développement semblables ou gradués.

La *cartographie urbaine* est traitée dans cette partie. Son objet, la ville, se distingue nettement des autres puisqu'il correspond à des échelles de restitution plus grandes que celles des cartes qui sont citées par ailleurs et surtout parce que *la ville*, unité géographique, peut et doit être traitée à travers toutes les disciplines. La spécificité de l'objet d'étude en fait le domaine privilégié de la cartographie de synthèse et plus particulièrement de la cartographie d'aptitudes.

Dans ces quatre parties, la présentation des sujets traités fournit l'occasion d'aborder les problèmes épistémologiques concernant l'évolution des concepts des disciplines scientifiques, la préemption de l'information ou les principes de la restitution visuelle des données.

Enfin, *Cartographie et Développement* est complété par trois annexes pratiques :

- un *glossaire* des termes scientifiques, techniques ou simplement d'usage peu courant employés dans le texte ou employés par les cartographes ; ces termes sont signalés par un astérisque ;
- une *liste bibliographique* destinée à compléter des sujets jugés importants mais qu'il est impossible de développer ici dans le détail ; cette liste comprend les documents dont la lecture nous a aidés à rédiger *Cartographie et Développement* et les ouvrages cités ;
- une liste des *adresses utiles* permettant aux utilisateurs de *Cartographie et Développement* de savoir où acquérir des compléments d'information et où consulter des documents, de prendre contact avec des organismes susceptibles de leur apporter expérience, services et moyens scientifiques.

Pour faciliter la lecture de l'ensemble de *Cartographie et Développement*, un plan unique a été retenu pour tous les chapitres. Seule l'inégalité d'importance accordée aux différents paragraphes traduit les problèmes spécifiques à chacun des thèmes ou disciplines abordés.

Une brève introduction place le sujet de chaque chapitre dans l'ensemble des sujets traités. Elle est suivie de trois paragraphes et d'une fiche technique.

a) Le paragraphe *saisie de l'information* a pour but de préciser la nature et le mode de recueil de l'information nécessaire (ou simplement utile) à la cartographie du sujet. A l'heure actuelle, il apparaît que la qualité de l'information est liée moins à sa nature qu'aux méthodes de saisie et à l'évolution des disciplines : selon la finalité du propos on ne saisit pas, sur le même sujet, la même information avec la même intensité. Les problèmes de *pluridisciplinarité* dans la saisie de l'information, de *précision*, *d'exactitude*, *d'échelle* et de *quantité d'information* saisie sont abordés dans ce paragraphe et développés selon l'importance qui leur est propre dans chacune des disciplines.

b) Le paragraphe *restitution de l'information* traite des méthodes de restitution graphique applicables ou appliquées à chaque discipline (ou à chaque ensemble de disciplines) afin d'en évaluer les avantages et les limites. Outre les divers modes de restitution graphique (diagrammes, croquis, cartes), sont abordées dans ce paragraphe les questions de *nomenclature* et de *légende* des cartes, de choix entre le *noir et blanc* et la *couleur*...

c) Le paragraphe *maîtrise et utilisation de l'information cartographiée* est consacré à l'étude de réalisations cartographiques, en particulier celles à propos desquelles le preneur de décision a précisé et spécifié sa demande. Y sont abordés les problèmes concernant la finalité des cartes et l'utilité de *cartes dérivées*, le problème de la *lisibilité* du produit cartographique et de l'*échelle de restitution* de l'information destinée à la prise de décision.

d) Chaque chapitre (sauf ceux de l'introduction méthodologique) est accompagné d'une *fiche technique*. La fiche technique est illustration et démonstration d'une réalisation concrète. Elle est composée de la reproduction d'une portion de carte à l'échelle d'origine et d'un commentaire sur la carte elle-même d'une part, sur l'extrait présenté d'autre part. Ce commentaire décrit les modalités de rédaction, le contenu thématique, l'usage qui a été fait de la carte lorsque celui-ci est connu avec précision. Il donne des indications sur les classements thématiques figurés sur la carte et leur correspondance graphique tels qu'ils apparaissent dans l'illustration.

## Conclusion

La prise en compte de la *dimension spatiale* du développement dans le processus de planification a notamment renforcé l'approche pluridisciplinaire et globalisante en vertu de laquelle le *paysage* est compris comme l'*expression d'un système* fonctionnant dans le temps et dans l'espace.

L'analyse systémique et la démarche cartographique apparaissent ainsi comme des instruments pertinents pour la prise de décision : les études approfondies et l'expérimentation ayant fourni l'analyse de fonctionnement, les supports visuels et plus particulièrement la cartographie permettent de matérialiser la structure apparente du milieu sur lequel on se propose d'intervenir.

L'examen de la représentation cartographique des divers éléments constituant l'environnement naturel et humanisé s'inscrit alors dans une démarche active de recherche pour le développement dans laquelle le désir d'améliorer les conditions de préparation et d'exécution des projets d'aménagement interroge la recherche et la cartographie.

On trouvera donc, parallèlement à la description des approches cartographiques de chacune des disciplines, l'intention de dégager « la philosophie de l'idée cartographique » : évolution historique des concepts (*géologie, pédologie*) et des techniques (*cartographie assistée par ordinateur*), transformation de notre perception de la terre (*photographies aériennes, télédétection spatiale, données Landsat*), apparition de nouvelles analyses et de nouvelles perspectives avec les notions d'écologie et de protection de l'environnement (*cartes de végétation, cartes morpho-pédologiques, cartes d'aptitudes*), intégration des faits économiques et sociaux à la description de la terre (*cartes d'aptitudes, carte d'occupation et d'utilisation du sol, cartographie urbaine*)...

C'est cette philosophie que les actions de développement sauront interroger, notamment quand elles devront produire, dans des limites de temps et de coût déterminées, un constat de situation, une évaluation, une étude de faisabilité...

Au-delà de l'intérêt technique et scientifique de l'outil cartographique, c'est bien sur l'utilité politique de disposer de ses propres moyens d'étude et d'analyse qu'il faut s'interroger. Le problème n'est pas seulement celui de la maîtrise de techniques simples ou sophistiquées mais également celui d'une démarche et d'une idée de la cartographie. *Cartographie et Développement* se veut être considéré comme un *point d'appui* permettant au preneur de décision de mieux définir ses besoins et de dominer les processus d'acquisition et de transformation de l'information.

*Cartographie et Développement* atteindrait son objectif si, au-delà de la simple vulgarisation de l'outil cartographique, il permettait aux producteurs et aux utilisateurs de l'information de s'interroger mutuellement sur les modalités d'une maîtrise du traitement des données et sur la démarche de « territorialisation de l'économique ».

*Mars 1984*

Première Partie

# **Introduction méthodologique**



## Chapitre 1

# La cartographie : principes et techniques

La réalisation cartographique obéit à des principes et fait appel à des techniques en général bien connus du cartographe. Il est toutefois utile que le *demandeur* d'une réalisation cartographique ou d'un programme cartographique en connaisse l'essentiel, car ce sont ces techniques et ces principes qui déterminent largement les caractéristiques essentielles d'une carte, et l'efficacité avec laquelle elle répond aux besoins et donne les réponses aux questions posées.

On trouvera donc ci-dessous un aperçu sur les principes généraux qui président à la rédaction d'une carte, et plus largement, d'une « image graphique » (diagramme, schéma, réseau, plan, carte, etc.).

## 1. LE TRAITEMENT GRAPHIQUE DE L'INFORMATION

### 1.1 Les principes de base

« La représentation graphique fait partie des systèmes de signes fondamentaux que l'homme a construits pour retenir, comprendre et communiquer les observations qui lui sont nécessaires. « Langage » destiné à l'œil, elle bénéficie des propriétés (...) de la perception visuelle et obéit à ses lois. Système de signes monosémiques, elle se définit comme la partie rationnelle du monde des images » (Encyclopedia Universalis, rubrique « GRAPHIQUE »).

La graphique (dont fait partie la cartographie) est l'ensemble des observations et des règles qui découlent des propriétés de la perception visuelle, et qui permettent la construction d'une « image » logique, cohérente, capable de répondre à toutes les questions que l'on peut se poser, tant au niveau global de l'image, qu'au niveau du détail (1).

En préalable à toute construction graphique, il convient d'analyser soigneusement les matériaux de base que l'on possède (les données) et que l'on souhaite traduire et/ou traiter.

### 1.2. L'analyse des données : le tableau à double entrée

Que l'information soit simple ou complexe, on aura toujours intérêt à transcrire les données en un tableau à double entrée, ce qui clarifie déjà le problème à traiter, permet d'émettre des hypothèses de recherche, de prévoir déjà des relations entre les données, de choisir le traitement graphique le plus approprié à la nature des données et au but à atteindre.

(1) C'est volontairement que nous ne donnons ici qu'un bref aperçu des nombreuses possibilités graphiques et cartographiques qui sont à la disposition du rédacteur et du décideur. On se reportera avec profit aux documents cités en bibliographie : *Encyclopedia Universalis*, rubrique *Graphique* ; J. BERTIN 1977, S. BONIN 1975.

On portera, en général, en ligne les « individus » ou « objets » (au sens statistique du terme : l'entité de base sur laquelle l'observateur réalise un certain nombre de mesures ; par exemple : une région, une ethnie, une ville...) et en colonne les « caractères » relatifs à ces « individus » (nombre d'habitants, sexe, âge, mortalité, etc.).







Les données contenues dans le tableau peuvent être *qualitatives* (*il y a* ou *il n'y a pas* ; l'individu est-il de sexe féminin ? *oui, non*) ou *quantitatives* (lorsque les valeurs sont prises sur une échelle numérique). Les quantités peuvent être soit des nombres absolus, soit des rapports (nombre de bœufs pour cent habitants) (1).

Une première analyse du tableau portera sur la *nature* des individus et des caractères : sont-ils déjà ordonnés ? ou pas ? Une seconde analyse portera sur le *contenu* des lignes et des colonnes : quelle est la distribution des données ? Quel est le nombre de données manquantes ou nulles ? Peut-on assimiler les informations manquantes à zéro ? Le zéro est-il significatif ? Une faible valeur peut-elle être assimilée à un zéro ou doit-elle être distinguée ? Les fortes valeurs doivent-elles être extraites ? Certaines séries doivent-elles être inversées ? (2)

### 1.3. La transcription des données. Les variables visuelles.

Le travail d'analyse de l'information de base étant effectué, on transcrira les données « en image », en veillant à ce que correspondent logique interne des données (ordre, hiérarchie) et logique visuelle (que le plus gros, le plus fort « vienne en noir », le plus petit, le plus faible « vienne en blanc ou en clair »), et en hiérarchisant, comme en publicité, le « discours » graphique, en fonction des objectifs recherchés : que le plus important vienne « en avant », le moins « en arrière ».

Pour ce faire, on utilisera les propriétés des variables visuelles : chaque tache visible (point, trait, zone) inscrite sur le plan (la feuille de papier) peut varier, se différencier de sa voisine selon six modalités différentes : la taille, la valeur, le grain, la couleur, l'orientation, la forme. On trouvera dans le tableau ci-dessous quelques exemples des figures possibles pour chaque variable :

LA TAILLE		du plus petit au plus gros
		du plus fin au plus épais
LA VALEUR		du plus clair au plus foncé
LE GRAIN		du plus fin au plus grossier
LA COULEUR	( non figurée ici )	
L'ORIENTATION		
LA FORME		

En fonction de la nature de l'information à traduire, on choisira une variable plutôt qu'une autre : par exemple, on utilisera la variation de taille pour représenter les quantités, la variation de forme pour représenter des objets différents les uns des autres mais non hiérarchisés (non ordonnés : des

(1) Il est utile de signaler ici que le traitement graphique des rapports, et en particulier le traitement cartographique (c'est-à-dire leur rapport à un territoire, mesuré ou non) doit être abordé avec précaution afin d'éviter les aberrations statistiques et/ou graphiques.

(2) Ce peut être le cas quand des valeurs quantitativement fortes sont plutôt assimilables à un ensemble thématique à considérer comme faible : une mortalité infantile élevée par exemple dans un bilan démographique (ou l'inverse).

ethnies, par exemple), la variation de valeur, en *implantation zonale*\*, pour représenter des densités, etc.

Les caractéristiques de ces variables et leur aptitude à traduire un phénomène plutôt qu'un autre ont fait l'objet d'une étude systématique (voir J. Bertin 1977, op. cit. p. 186).

## 1.4. La construction de l'image. Le traitement graphique de l'information.

Sur les deux dimensions du plan (la feuille de papier), grâce aux variables visuelles, on pourra transcrire l'information analysée et construire ainsi différents types d'images graphiques en fonction de la nature des données (simples ou composées) et du but recherché : schéma de mémorisation, croquis explicatif, carte élémentaire, ou bien collection d'« images » — de cartes ou de diagrammes — destinées à être comparées, classées, simplifiées, pour aboutir à une meilleure maîtrise de l'information et donc à des décisions plus solidement fondées.

*Toute représentation graphique* (de la plus simple à la plus complexe) a pour but de mettre en lumière les relations existant entre les éléments constitutifs (les composantes) de l'image. Or, une image simple (convenablement hiérarchisée, construite selon les lois d'utilisation des variables visuelles) est vite « lue », et bien mémorisée. On aura donc intérêt, si l'information est complexe, à la décomposer en une série d'images construites sur le même modèle, et ne comportant, pour chaque image, qu'un seul élément (par exemple, une collection de cartes de dimensions réduites, représentant sur un même fond de carte simplifié et à la même échelle, un phénomène par carte) ; de même, dans un diagramme représentant l'évolution dans le temps de plusieurs éléments d'un phénomène, on n'« empilera » pas ces éléments les uns sur les autres au-dessus de la même base, mais on dessinera un diagramme par élément, et un diagramme pour le total, ce qui permettra de voir séparément l'évolution de chaque élément (chaque « profil »), de les comparer entre eux, de les découper, de les classer, ce qui est impossible si le diagramme est construit en superposition. *L'œil, en effet, effectue facilement la synthèse d'éléments simples bien mémorisés, en dégage aisément les regroupements pertinents*, alors qu'il se perd dans la grisaille d'une carte complexe où il doit d'abord retrouver chaque élément constitutif avant d'accéder à une vision d'ensemble (souvent hypothétique). Rien n'empêche d'ailleurs, après cette « mise à plat », que l'on constitue une ou plusieurs cartes de synthèse : les regroupements effectués alors seront choisis (non subis) et pertinents.

Chaque « image » sera convenablement identifiée : le titre, la légende (le code d'interprétation) seront clairs, explicites, mais brefs, et sans ambiguïté.

En respectant ces quelques règles de lisibilité et de logique chacun pourra constituer un matériel graphique simple, qui lui permettra non seulement de réfléchir (en examinant toutes les combinaisons possibles au sein de son information), mais aussi de mieux communiquer à autrui les résultats de ses investigations.

## 1.5. Les différents types de traitement graphique.

On retrouve la démarche que l'on vient de décrire — décomposition d'une image complexe en ses éléments simples (ou constitution d'images élémentaires à partir des données), classements multiples, reconstitution d'une ou plusieurs images structurées, élaborées — dans tout traitement graphique de données.

La collection de cartes, l'éventail de courbes, le fichier-image, la matrice permutable (manuelle ou informatisée) sont des outils de transcription graphique des données et de réflexion qui sont fort utiles, en particulier lorsqu'on se trouve confronté à une masse relativement importante d'informations alors qu'on ne possède que peu de moyens techniques (en particulier pas d'ordinateur). On en trouvera la description détaillée dans J. Bertin 1977, op. cit.

Par ailleurs, la connaissance et l'application rigoureuse des règles de construction de l'image graphique permettent d'envisager la systématisation et donc l'automatisation d'un certain nombre d'opérations. Actuellement, un domaine avancé est celui de la *cartographie assistée par ordinateur* (1). Sa mise en œuvre fait appel à une combinaison de traitements mathématiques (analyse et traitement des données, analyses factorielles, nuées dynamiques, composantes principales...) et de visualisations sur écran cathodique puis de traçages sur table traçante. La principale difficulté dans le domaine de la cartographie assistée par ordinateur est de faire la part des choses entre traitement automatique et intervention humaine et de régler efficacement, à l'intérieur de la chaîne, le passage d'un traitement à un autre : mathématique, informatique, manuel, visuel...

(1) Voir chapitre LA CARTOGRAPHIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR.



## 2. QUELQUES PRÉCAUTIONS TECHNIQUES

### 2.1. Le format et l'échelle.

Le format d'une carte est la dimension de la feuille de papier dans laquelle elle s'inscrit avec ses identifiants (titre, légende, échelle, orientation, coordonnées géographiques, etc.). Le format ne doit pas être trop grand afin que la carte puisse être facilement consultée et manipulée, qu'on puisse la poser à plat sur un bureau de taille courante et afin de ne pas alourdir le prix de revient de sa reproduction par l'emploi de machines de format peu courant ou de feuilles de papier trop grandes. Il ne doit pas non plus être trop petit afin que toutes les informations nécessaires s'inscrivent lisiblement sur la carte.

L'échelle est la fraction arithmétique qui exprime le rapport des dimensions d'un objet sur la carte (en numérateur) et sur le terrain (en dénominateur) : une échelle de 1/200 000 signifie qu'un centimètre sur la carte représente 200 000 centimètres sur le terrain, soit 2 000 mètres.

Les dimensions réelles du territoire à représenter, l'échelle de la carte et le format utile de la carte sont en rapport direct.

Quand le territoire à cartographier est de vastes dimensions et quand la lisibilité de la carte exige une échelle assez grande, on est souvent amené à présenter la carte en plusieurs *feuilles* ou *coupures* afin de ne pas la restituer sous un format trop grand. C'est ainsi qu'on rencontre fréquemment ce libellé : *carte de... en deux feuilles (en quatre ou dix feuilles)*, impliquant bien sûr un format et une présentation identiques pour chacune d'elles.

Au cours de travaux de cartographie, il est fréquent d'utiliser des documents à échelles différentes ou de modifier l'échelle du document à rédiger : il faut savoir que les changements d'échelle modifient l'usage qui peut être fait d'une carte. D'une part, ils modifient le format de la carte, ou bien, si on souhaite conserver le même format, ils modifient le périmètre du territoire représenté.

L'*agrandissement* (le passage d'une échelle petite à une échelle plus grande : 1/200 000 à 1/50 000 par exemple) ne modifie pas la lisibilité de la carte. La *réduction* par contre modifie la lisibilité de la carte. L'utilisation d'une carte préalablement réduite ne peut se faire sans précautions car les tracés doivent être *généralisés* afin de rétablir la lisibilité de la carte. La généralisation altère la précision de la carte non seulement dans les tracés, qui sont simplifiés, mais dans le contenu : les unités devenues trop petites disparaissent de la carte et de la légende, ce qui modifie considérablement le *sens* du document dans certains cas.

C'est l'une des raisons essentielles pour lesquelles il convient de ne pas utiliser de documents déjà généralisés pour rédiger une nouvelle carte, mais de rechercher et d'utiliser le document cartographique original.

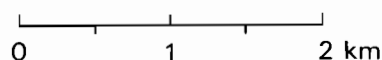
On notera que les cartes destinées à des usages opérationnels de développement (planification, aménagement) doivent être de préférence rédigées aux échelles grandes et moyennes (de 1/20 000 à 1/500 000) afin que soient conservées la lisibilité et la précision de l'information.

### 2.2. Les indispensables annexes de la carte.

Qu'elles soient destinées ou non à la publication, les cartes doivent porter quelques indications indispensables à leur utilisation.

— Les coordonnées géographiques et la direction du nord lorsque celle-ci n'est pas parallèle au bord vertical de la carte, l'échelle numérique et l'échelle métrique :

exemple : 1/50 000 :



En cas de réduction ou d'agrandissement photographique, l'échelle métrique reste toujours exacte alors que l'échelle numérique devient fautive.

- La date de la réalisation et, si la carte est publiée, la date de publication.
- Les noms des organismes concepteurs, des organismes commanditaires, les noms des réalisateurs et des dessinateurs, ceux des ateliers et institutions auxquels ils appartiennent.
- Le nom et adresse de l'éditeur.

Ces dernières informations permettent d'identifier la carte dans une bibliographie par exemple.

La carte porte en outre des éléments *rédigés* indispensables à sa lecture et à son utilisation : il convient d'apporter la plus grande attention à cette rédaction afin que ces textes — nécessairement concis — évitent toute ambiguïté.

— *Le titre* de la carte est généralement le texte qui est lu en premier ; il doit indiquer avec précision le sujet de la carte, éventuellement le type de carte, le territoire concerné et être immédiatement suivi de l'échelle numérique (exemple : carte pédologique de reconnaissance de la République du Niger à 1/500 000). Du titre dépend l'intérêt qui sera porté à la carte avant même qu'elle ait été examinée.

— *La légende* doit être extrêmement précise, éviter toute ambiguïté et expliquer *tous les figurés* portés sur la carte. Elle doit être ordonnée et logique mais aussi brève que possible. On n'oubliera pas de préciser si le *blanc* signifie une lacune (une aire non traitée sur la carte), une absence de données ou un zéro.

— Il est utile de faire figurer sur la carte elle-même, de façon très concise, *l'origine des documents cartographiques* qui ont été utilisés pour sa rédaction : les rédacteurs qui utiliseront ultérieurement la carte en question pourront ainsi ajuster leurs travaux sur une chaîne cartographique identifiée et analysée.

— Il est habituel de compléter certaines cartes — en général les cartes complexes — par une *notice*, véritable volume rédigé destiné à éclairer l'utilisateur sur plusieurs points que la carte n'explique pas : bibliographies précises des documents (cartographiques et rédigés) utilisés, critères de classification des thèmes figurés, contenus des thèmes figurés (c'est le cas notamment des cartes géologiques et pédologiques), explications sur le vocabulaire utilisé, sur la destination de la carte, sur certains choix limitatifs effectués par le rédacteur... La notice peut contenir des croquis cartographiques ou des diagrammes complémentaires sur certains points particuliers et elle présente souvent, sur les sujets traités par la carte, des commentaires et interprétations scientifiques et pratiques. Sa lecture permet de replacer la carte dans le contexte géographique du territoire figuré, dans le contexte scientifique de la discipline concernée et ainsi d'utiliser l'ensemble notice-carte avec le maximum de sécurité. Il faut cependant prendre garde que la notice ne soit pas une paraphrase de la carte, qu'elle ne doit pas non plus remplacer d'autres cartes... Une carte qui exige une longue notice d'accompagnement pour être comprise peut ne pas être une bonne carte.

Sans qu'il soit nécessaire de rédiger une notice proprement dite, quelques lignes, inscrites sur la carte elle-même, attirant l'attention de l'utilisateur sur tel point jugé important par le rédacteur, sont toujours très utiles.

## 2.3. La reproduction et les supports

Les cartes élaborées aux échelles grandes et moyennes ont un format sans rapport avec celui des documents rédigés courants : elles ne peuvent donc que rarement être reproduites par les moyens couramment utilisés dans les bureaux (photocopies, stencils...).

Pour reproduire les cartes, on a recours à des moyens spécialisés plus ou moins complexes et plus ou moins coûteux. Deux d'entre eux sont décrits ici.

### a) Le tirage diazo

Le plus connu et le plus courant des procédés de tirage à grand format est le *tirage diazo*, autrefois appelé « bleu d'architecte ». Il présente l'avantage de fournir des reproductions peu coûteuses à l'unité (de l'ordre de 10 à 15 francs français le mètre carré), faciles à mettre en œuvre, car l'appareillage et les produits nécessaires sont très répandus et le personnel nécessaire est réduit et rapidement formé. Les tirages diazo ne présentent guère de limitation de format car il existe des machines qui travaillent sur 130 centimètres de largeur et la longueur reproduite n'est limitée que par la longueur des rouleaux de papier spécial du commerce, soit 20 mètres. Le format le plus courant est 110 centimètres de largeur.

Le procédé diazo permet de reproduire les documents originaux sur papier opaque ou sur support translucide ; ce dernier est appelé contre-calque. Il permet la superposition de documents, la rectification de documents de travail puis une nouvelle duplication, et peut donner lieu ainsi à la rédaction de documents successifs de plus en plus élaborés.

Mais il présente plusieurs contraintes qui limitent son utilisation.

— *Le document original*, celui qui est destiné à être reproduit, *doit obligatoirement être tracé sur un support transparent ou translucide* (film photographique ou calque) sur lequel les traits s'inscrivent en noir bien opaque sans superpositions ni surcharge.

— La duplication se fait par application directe de l'original sur le papier sensible et exposition à une lumière vive : elle est donc lente et ne peut être effectuée que document après document. On ne peut guère envisager de grands tirages par ce procédé et le nombre de tirages, même élevé, ne réduit pas le prix de revient.

— Le diazo ne peut faire de reproductions qu'en une seule couleur (noir sur fond blanc ou rouge foncé sur fond blanc) : un document original portant plusieurs couleurs ne peut donc pas être reproduit par ce moyen.

— Le passage à la reproduction photographique fait perdre au document résultant une partie de sa netteté ; il faut donc veiller, dans une procédure de reproduction, à limiter le plus possible les « passages » photographiques.

— Le document tiré vieillit très mal : exposé à la lumière, il jaunit, brunit, et le contraste entre le trait et le support papier s'efface ; le document peut rester lisible mais à la longue, il ne peut plus être reproduit (1).

En dépit de ces inconvénients, le diazo est un mode de reproduction bien adapté aux tirages de faible importance, pour les documents à diffusion limitée ou échelonnée, les documents provisoires à usage interne, les documents de travail, les minutes, les projets...

Les documents originaux destinés aux tirages diazo sont généralement dessinés sur calque papier ou sur calque polyester. Le premier est un support courant, peu coûteux mais aisément déchirable et difficile à conserver en atmosphère non contrôlée. Il présente l'inconvénient majeur de manquer de stabilité dimensionnelle, c'est-à-dire que les dimensions des feuilles peuvent varier, selon la température et l'hygrométrie, dans des proportions qui atteignent 0,5 % : ce défaut est très gênant quand on veut tracer des documents superposables. On lui préfère désormais le calque polyester, support plastique translucide stable, plus facile à travailler (dessin, corrections) mais environ dix fois plus coûteux que le calque papier.

#### b) Les procédés d'imprimerie

Les procédés d'imprimerie sont multiples mais tous fondés sur le principe du cliché photographique destiné à graver une plaque originale. Ils ont l'avantage de fournir des produits de très bonne qualité, imprimés sur des papiers dont on peut choisir la qualité, et de permettre l'utilisation de couleurs variées et harmonieuses. Ils ont l'inconvénient d'exiger un matériel important de type professionnel pour la reproduction et des originaux cartographiques extrêmement soignés, présentés selon des modalités particulières qui relèvent de la spécialité du dessinateur cartographe.

Les cartes en plusieurs couleurs sont d'un prix de revient très élevé : chaque couleur de base représente une procédure séparée et un passage sur la machine ; on peut considérer qu'une carte en bleu, rouge et noir revient à peu près au prix de trois cartes en noir. D'autre part, pour chaque « passage », il est nécessaire de veiller très soigneusement à la rigueur du repérage afin que les couleurs soient « à l'intérieur du trait », que l'on n'ait pas un peu de rouge ou un peu de bleu de part et d'autre de ce qui aurait dû être du violet.

Ces types de reproduction ne sont employés que pour les travaux professionnels de cartographie, les cartes destinées à la diffusion publique et à la commercialisation de documents élaborés et pour des tirages importants (de l'ordre du millier) car le prix de revient des procédés d'imprimerie décroît avec l'augmentation du tirage.

Il est utile de s'informer à l'avance des formats (en particulier du format maximal) disponibles à l'imprimerie qui exécutera le travail.

## 2.4. Le cas particulier des cartes issues des systèmes informatisés

La plupart des appareils qui dessinent automatiquement des cartes à partir de données numériques enregistrées et traitées (tables traçantes) fournissent des documents en noir ou en couleurs sur des papiers ordinaires opaques qu'il n'est pas aisé de reproduire. Il convient d'en tenir compte dans la programmation d'un projet informatisé et, si cela est utile, de prévoir l'équipement spécial nécessaire.

Notons enfin que les techniques actuelles de reprographie sont en train de faire des progrès importants en ce qui concerne les prix de revient, les formats disponibles et la restitution des couleurs par les photocopieurs disponibles dans le commerce. Il est prévisible que ce procédé de reproduction simple, maniable, rapide, pourra être employé de plus en plus couramment en cartographie.

(1) cf. M.C. LORTIC, 1977.

## Chapitre 2

# La cartographie des données quantitatives

Parallèlement à l'information dont ils disposent sur le milieu naturel, qualitative le plus souvent, le planificateur et l'aménageur ont besoin d'une information sur l'action de l'homme sur ce milieu et plus précisément sur ses effets. Les effets de l'activité humaine se traduisent de façon qualitative, certes — les notions d'occupation et d'utilisation de l'espace en rendent compte — mais plus encore de façon quantitative : rendements, tonnages de productions, quantités d'habitants, densités de bétail, équipements, pour ne citer que quelques exemples...

Les données quantitatives utiles aux opérations de planification et d'aménagement ne manquent généralement pas : elles sont présentées sous forme de gros rapports dans lesquels les tableaux statistiques nombreux décrivent globalement l'« état de la nation » dans chaque pays ou étudient de manière spécifique tel phénomène particulier... Services techniques, administrations publiques et privées, organismes de recherche, organismes de financement nationaux, bilatéraux et multilatéraux contribuent pour leur part à enrichir un corpus toujours plus abondant de données chiffrées sur les habitants, leurs activités et les résultats des actions menées dans chaque pays.

Ces données quantitatives ne sont pas toujours adaptées aux besoins, mais elles constituent une mine d'informations dont le contenu est en général accessible (au siège des administrations, dans les circonscriptions concernées etc.) mais pas toujours d'exploitation aisée ; en effet, il est nécessaire de trier ces données chaque fois que l'on désire s'en servir à des fins qui ne sont pas celles qui ont présidé à leur fabrication et surtout chaque fois que l'on désire les présenter sous forme claire et rapidement perceptible.

La graphique — cartes et diagrammes — constitue alors un mode de figuration bien lisible des informations quantitatives. Le diagramme est utilisé chaque fois qu'on veut présenter l'information sous forme rigoureusement classée sans qu'une figuration géographique spatialisée soit nécessaire. Quand la figuration spatialisée est indispensable pour situer géographiquement, repérer, effectuer des comparaisons globales, on dresse une carte.

La cartographie des données quantitatives pose un certain nombre de problèmes qui ne peuvent être résolus sans précautions si l'on veut exploiter les données ; ces précautions concernent à la fois le recueil et le traitement des données quantitatives, la rédaction et l'utilisation des cartes.

### **1. SAISIE DE L'INFORMATION : ANALYSE ET CRITIQUE DES DONNÉES RECUEILLIES**

Les données quantitatives sont issues principalement des recensements, des inventaires statistiques et des enquêtes par sondage.

## 1.1. Les recensements

Les recensements sont effectués généralement à des fins administratives et fiscales. Ils donnent aux administrations les informations indispensables à la gestion et à la prévention et concernent surtout la population humaine. Les recensements sont le plus souvent exhaustifs, c'est-à-dire qu'ils concernent une circonscription tout entière ou un pays tout entier et ils sont instantanés, c'est-à-dire que les opérations de recensement sont effectuées dans le plus bref laps de temps possible (de l'ordre de la dizaine de jours).

Les recensements de la population donnent des informations multiples : dénombrement des individus et lieu de résidence, âge, situation matrimoniale, occupation principale, type d'habitat, aspects socio-économiques, etc., et dressent le tableau en principe complet de la population en un moment donné.

Le fait que le *lieu de recueil de l'information et le lieu de résidence* de chaque individu recensé soient indiqués sur les minutes de recensement rend les résultats cartographiables.

Dans de nombreux pays en voie de développement, les recensements périodiques (qui coûtent très cher à préparer, à effectuer et à exploiter) sont remplacés par des dénombrements permanents dont la tenue à jour est assurée par des responsables locaux. Si le procédé donne satisfaction dans des unités de peuplement de faible importance (villages), il est insuffisant dans les villes et ne rend que très mal compte des déplacements, migrations, modifications (rapides ou lentes) de l'état d'une population.

Une cartographie qui s'appuie sur leur contenu doit s'adjoindre des sources d'information complémentaires et harmoniser ces sources d'information. Ajoutons que les dénombrements, souvent suscités à l'origine par des motifs clairement fiscaux, sont toujours suspects de sous-évaluation.

## 1.2. Les inventaires statistiques

Les inventaires statistiques concernent, pour une aire donnée, la totalité des individus, des objets, des éléments choisis pour être étudiés. Par exemple, au cours de l'enquête sur l'éradication de la variole en Côte d'Ivoire (1961-1967) tous les lieux habités ont été visités.

Ce type d'enquête est fondé sur des comptages systématiques (de véhicules automobiles, d'enfants scolarisés, de commerçants, de malades...). Elles peuvent parfois porter sur plusieurs années (les derniers résultats ne sont donc plus tout à fait homogènes par rapport aux premiers). Elles peuvent aussi être effectuées, pour des raisons évidentes de facilité, dans des lieux privilégiés de concentration des individus ou des objets (hôpitaux, marchés...). Les résultats sont alors en partie faussés car :

- on n'est jamais sûr d'avoir dénombré *toutes* les unités recherchées ;
- on ne les a pas dénombrées *au lieu même* de leur emplacement habituel d'activité ou de production...

C'est ainsi qu'un comptage automobile effectué sur une route le jour de marché dans un village proche donne un résultat occasionnel sans rapport avec la circulation *quotidienne*, un résultat non comparable aux mesures effectuées le même jour sur une autre voie non touchée par la fréquentation du marché.

Les résultats des enquêtes sont alors généralement redressés pour les rendre comparables sous la forme de pourcentages, de fréquences, etc. Le redressement modifie l'information initiale qu'est le dénombrement brut.

## 1.3. Les enquêtes par sondage

On conçoit les difficultés que peut rencontrer la mise en œuvre des enquêtes exhaustives (durée de l'enquête, coût, lourdeur logistique...). Si le territoire à étudier est de vastes dimensions et de peuplement important, on substitue souvent à l'enquête exhaustive l'*enquête par sondage*.

L'enquête par sondage permet d'effectuer un travail plus approfondi sur un champ thématique plus restreint, non plus sur la totalité des individus ou des objets présents mais sur des échantillons représentatifs de cette totalité.

Tout le problème de la cartographie des données quantitatives collectées lors des enquêtes par sondage réside dans la signification de ces données et plus particulièrement dans leur représentativité. Les résultats d'une enquête par sondage ne peuvent être représentés cartographiquement que s'ils sont extrapolés à l'ensemble de l'espace sur lequel porte l'échantillon. Pour être lisibles sur la carte, c'est-à-dire comparables simultanément, les résultats bruts des échantillons (qui correspondent à diverses zones géographiques pour lesquelles le taux de sondage est souvent différent) doivent *nécessairement* être extrapolés à la totalité de la population de chaque zone.

Ainsi, pour être statistiquement significatif, l'échantillon dans une zone peu peuplée aura un taux de sondage élevé, correspondant à un effectif voisin de celui d'une zone très peuplée où le taux de sondage est faible : les résultats obtenus sur ces échantillons ne seront pas comparables s'ils ne sont pas rapportés à l'effectif réel de chacune de ces zones.

Pour s'assurer de la représentativité des échantillons, deux techniques d'échantillonnage peuvent être utilisées : le sondage aléatoire sur un univers simplement dénombré ou stratifié et l'échantillonnage raisonné sur un univers connu de manière approfondie.

Dans le premier cas, on est assuré d'obtenir une estimation sans biais si le taux de sondage respecte l'effectif minimal à partir duquel commencent à s'appliquer les lois statistiques, c'est-à-dire 30 individus. La précision des résultats extrapolés à l'ensemble de l'univers étudié dépend alors du degré de représentativité de l'échantillon : pour un échantillon aléatoire, le degré de représentativité est déterminé par sa taille (son taux de sondage) et peut être sensiblement amélioré par la stratification\* préalable de l'univers étudié, stratification qui dépend de la connaissance préalable que l'on a de ce dernier.

L'échantillonnage raisonné, en revanche, est plutôt utilisé pour mettre en évidence un phénomène précis sur une population déjà connue de manière approfondie. Il fournit une estimation approchée de la réalité sans pour autant que l'on puisse calculer le degré de précision de celle-ci et avec le risque qu'il existe un biais : une représentativité peut en cacher une autre.

Pour améliorer la représentativité de l'échantillon et la précision des résultats sur l'ensemble de la population ou de la zone étudiée, le statisticien découpe celle-ci en strates : cette stratification n'a pas pour but de donner des résultats par strate ; d'autre part, les critères de stratification ne sont pas toujours ceux qui seraient les plus pertinents pour les utilisateurs de l'information.

Pour le cartographe, par contre, le découpage de l'univers en sous-zones homogènes, par exemple, peut s'avérer essentiel : il devra donc préciser dans la phase d'élaboration du plan de sondage quels sont les objectifs et à quel niveau de finesse il désire obtenir les résultats. Le statisticien peut alors tenter d'adapter son plan de sondage à la demande de l'utilisateur cartographe.

De la même manière, le statisticien élabore des catégories d'analyse des résultats de l'enquête en tenant compte des effectifs de l'échantillon dans chacune des catégories plutôt qu'il ne s'attache aux critères d'identification de ces catégories, critères que souhaiterait pourtant voir apparaître l'utilisateur de l'information. L'utilisateur et plus particulièrement le cartographe doit donc être associé dès l'élaboration du plan de sondage afin de vérifier que celui-ci prenne en compte les catégories de population et les espaces qu'il souhaite analyser.

D'une manière générale, la cartographie des données quantitatives ne peut être envisagée indépendamment de la nature des données collectées. Qu'il participe à la conception des enquêtes ou s'appuie sur les *sources initiales* de l'information (minutes de recensement, fiches remplies par les enquêteurs...), c'est à partir de son information que le cartographe pourra effectuer les regroupements qui correspondent à ses impératifs de restitution graphique.

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION

La cartographie des données quantitatives exige que soient respectés des principes de transcription des données chiffrées en données visuelles, principes faute desquels l'information cartographiée se trouve déformée, inexacte, non valide.

Si les données à cartographier sont nombreuses, si elles concernent des caractères, des éléments variés, il est souvent utile et quelquefois même nécessaire de *préparer* le travail cartographique par une analyse de l'ensemble du problème à traiter. *L'analyse matricielle* (1) permet de « visualiser » sous forme de tableaux l'ensemble du sujet :

- en séparant les divers niveaux d'homogénéité des données ;
- en mettant en évidence les dimensions du problème à traiter et les efforts en temps et en personnel qu'il exigera ;
- en proposant un choix de procédures de traitement parmi lesquelles on sélectionnera la mieux adaptée et la moins ambiguë.

### 2.1. La restitution en valeurs absolues

La restitution cartographique des données statistiques en valeurs absolues, situées au point même correspondant à la mesure, a l'avantage de présenter des données brutes : aucun traitement n'altère

(1) cf. J. BERTIN, 1977, p. 17, 260.

l'information qui peut donc être réutilisée comme source de données à d'autres fins, donner lieu à des comparaisons visuelles et à des comparaisons chiffrées, à des comptages...

#### a) Les valeurs absolues d'une seule variable

L'exemple le plus courant est celui des classiques cartes de répartition de la population par points (1). Un chiffre représentant une quantité absolue (le nombre d'habitants d'un village) est transcrit par un signe placé sur la carte au point précis de l'observation (l'emplacement du village).

La transcription représente généralement par un seul signe plusieurs unités identiques de la population dénombrée : un point pour cent habitants par exemple.

Selon l'échelle de la carte et la quantité des unités à y faire figurer, on choisira soigneusement le rapport entre signe et quantités afin que la carte soit à la fois précise et lisible ; un signe pour 10, 50, 100 ou 1 000 habitants...

Il arrive fréquemment que la quantité des unités à représenter varie considérablement dans le même espace : c'est le cas de la population rurale et de la population urbaine dans la même circonscription administrative par exemple ; on choisit alors des signes de valeur différente et on marque la différence par la taille des signes ou à la fois par la taille et la couleur ; la taille des signes est calculée de sorte que leur *surface* soit proportionnelle à la quantité à représenter.

De nombreuses cartes de répartition de la population sont rédigées selon ce principe : la population rurale est figurée par points (un point pour n habitants), la population urbaine est figurée par des cercles de surface proportionnelle à la population de la ville.

Ce mode de figuration ne s'applique pas seulement à la population humaine : il peut s'appliquer à une population animale (nombre de têtes de bétail), à des quantités de produits agricoles ou industriels (exprimées en nombre, en poids), à des dénombrements végétaux, à des équipements...

Ce type de rédaction cartographique exige :

- que la statistique utilisée soit recueillie et disponible en *valeurs absolues* ;
- que les unités géographiques de recueil (villes, villages, exploitations agricoles...) soient *ponctuelles* à l'échelle de la carte, *connues* et *localisées*.

#### b) Les valeurs absolues à plusieurs variables

Il est fréquent que la compréhension d'un phénomène exige que plusieurs variables soient représentées en valeurs absolues sur une même carte. Une solution simple est alors celle du *diagramme situé*, qui se trouve à la limite de la cartographie proprement dite, certes, mais qui a l'avantage d'offrir une figuration exacte en quantités, permettant comparaisons et calculs ultérieurs.

Un exemple est celui des diagrammes climatiques (températures, pluviométrie, vents) ou hydrologiques (pluviométrie, débits) placés sur une carte à l'emplacement exact de la station d'observation.

## 2.2. Les valeurs absolues rapportées à une surface

Il est toujours intéressant de rapporter les dénombrements d'individus, les quantités produites ou consommées au territoire concerné. Ce territoire est alors quantifié par sa superficie. La mise en relation de la quantité et de la surface est généralement exprimée en *densité* des objets concernés au kilomètre carré ou à l'hectare.

Pour être correctement établie, une carte de densité (densité de population, densité de bétail, rendements) doit respecter un certain nombre d'impératifs :

- la surface à laquelle se rapporte la relation quantité-surface doit être connue (lisible sur la carte) ou susceptible d'être facilement connue.
- cette surface doit être délimitée par un périmètre encadrant de la façon la plus précise les individus ou les objets dénombrés.

Le périmètre à l'intérieur duquel s'inscrit la densité peut être arbitrairement matérialisé pour que la surface soit instantanément calculable et lisible ; il peut aussi être déterminé par calcul afin que la densité reflète le mieux possible la répartition réelle ; enfin, il peut être déterminé à d'autres fins, quand on cartographie les densités par circonscriptions administratives par exemple. Dans le premier cas, les surfaces matérialisées sont directement lisibles (ou calculables) sur la carte ; dans les deux autres, les surfaces ne sont pas connues directement d'après la carte. L'utilisation ultérieure du document cartographique ne peut alors être la même.

#### a) Les densités relatives à des superficies lisibles.

La carte peut être construite en divisant le territoire en carrés de côtés égaux ; les quantités absolues dénombrées dans chaque carré sont rapportées à sa surface. C'est le choix judicieux de la taille

(1) Voir chapitre RÉPARTITION DE LA POPULATION.



de ces carrés en fonction des quantités à représenter et en fonction de l'échelle de la carte qui rend cette dernière plus ou moins précise. La carte est exacte à la taille des carrés près : il peut arriver en effet qu'une forte quantité distribuée de façon quasi ponctuelle ou linéaire soit « éclatée » entre plusieurs carrés, donc amoindrie ; une partie de l'information disparaît alors.

Cette méthode est particulièrement adaptée à une exploitation informatique des données.

#### b) Les densités relatives à des superficies non lisibles

Les superficies, dans ce cas, ne sont pas directement calculables d'après la carte : seuls les périmètres sont figurés et il faut se reporter à d'autres sources (éventuellement les minutes de la carte) pour connaître les surfaces.

Les périmètres sont constitués soit par des lignes d'égale densité, soit par des limites déjà existantes : limites de circonscriptions administratives dans la plupart des cas, mais aussi éventuellement courbes de niveau, limites d'unités morpho-pédologiques ou d'unités climatiques...

Les cartes de densité par lignes d'égale densité donnent un figuré de la distribution plus exact et plus précis que les cartes de densité par carré de surface connue, mais elles ne sont pas utilisables pour tous les usages dérivés car dans le rapport *nombre d'unités/surface* qui caractérise la densité, seul le numérateur est connu (1).

Les cartes de densité par unités prédéterminées sont très souvent indispensables au planificateur et à l'aménageur qui ont fréquemment besoin de rapporter les dénombrements à la surface des circonscriptions administratives, qui constituent l'une des bases géographiques de leur intervention.

L'information sur les densités au kilomètre carré ou à l'hectare rapportées aux circonscriptions administratives permet les comparaisons et les illustrations. Mais ces cartes ne peuvent guère être utilisées pour des calculs, des extrapolations et la rédaction de cartes dérivées car les informations quantitatives qu'elles restituent peuvent n'avoir aucun rapport avec la distribution réelle des individus ou des objets. Les circonscriptions dans lesquelles se rencontrent des distributions hétérogènes (vallées densément peuplées et plateaux quasi déserts par exemple) sont pourvues d'une figuration uniforme, d'une « valeur moyenne » sans rapport avec la réalité ; le figuré uniforme d'une vaste circonscription donne l'impression *visuelle* que la valeur correspondante est plus élevée qu'elle n'est en réalité ; des aberrations graphiques peuvent survenir, comme la figuration sous la même classe d'un territoire rural uniformément occupé et d'un territoire désertique pourvu d'un seul centre d'habitat...

Pour éviter ces inconvénients, on peut choisir de cartographier les circonscriptions au plus petit niveau possible (le canton ou la commune plutôt que l'arrondissement ou le département...). La carte gagne en précision mais il faut prendre garde d'utiliser avec précaution un document cartographique qui risque alors d'être *plus précis qu'exact*.

## 2.3. La cartographie des ratios

L'information chiffrée concernant plusieurs thèmes différents peut être mise en rapport et ces rapports cartographiés en classes d'*indices*, de *ratios*\*, de *pourcentages*.

Pour que l'information soit correctement restituée, il est absolument nécessaire de préciser chaque fois ce que représente le numérateur et ce que représente le dénominateur de la fraction : taux de natalité pour 1000 habitants, rendement de produit agricole en quintaux par hectare cultivé, nombre d'habitants pour un médecin, etc.

C'est principalement en démographie mais aussi dans la figuration des infrastructures d'équipement rapportées à la population concernée et dans la figuration des productions que sont rédigées ces cartes.

Il est tentant de rapporter comme précédemment ces *rapports* à des surfaces, des circonscriptions administratives, notamment : de semblables cartes doivent être préparées avec grand soin afin d'éviter les aberrations graphiques et statistiques qui résultent couramment de ces rapports successifs dont certains termes ne sont pas précisés ; ainsi, les vastes circonscriptions administratives des zones désertiques peuvent-elles paraître plus productives que des régions plus riches... Mieux vaut adopter alors une figuration du type diagramme, plus exacte et plus exploitable.

## 2.4. La préparation d'une enquête statistique aux fins de cartographie

Il est utile, sinon indispensable, que les recensements, enquêtes, sondages puissent être conçus, avant leur mise en œuvre sur le terrain, en vue de l'exploitation cartographique éventuelle de leurs résultats. Mieux encore : si ces recensements et enquêtes portent sur de grandes surfaces de

(1) Un exemple de carte de densité par lignes d'égale densité est présenté et illustré dans le chapitre RÉPARTITION DE LA POPULATION, notamment planche d'illustration p. 163.



nombreuses unités, ils peuvent être conçus aux fins d'une exploitation informatique et cartographique informatisée.

Quelques précautions doivent être prises lors de la construction du plan d'enquête. Ces précautions n'alourdissent généralement guère le budget de l'enquête et elles ont l'avantage d'alléger remarquablement celui de l'exploitation.

La plus importante d'entre elles, pour une exploitation cartographique des résultats, est l'identification précise et détaillée des lieux où se trouvent les unités à dénombrer et des lieux où se déroule l'enquête lorsqu'il peut ne pas y avoir correspondance absolue.

Dans le cas d'un recensement, ces lieux sont les villages et les hameaux, les foyers et les unités d'habitat éventuellement, bref les plus petites unités destinées à être étudiées et restituées.

Cette identification géographique doit être faite à plusieurs niveaux :

- sur le plan géographique absolu : latitude et longitude, relevé de l'emplacement sur une carte ou un plan, si possible sur photographies aériennes ;
- sur le plan géographique local : nom de l'unité, noms des unités auxquelles elle appartient (hameau, village, canton, etc.) ; noms officiels et noms vernaculaires ; noms notés sur les cartes existantes, notamment les cartes topographiques ;
- sur le plan administratif : cette identification se fait généralement au moyen d'un code de chiffres et/ou de lettres référant à la liste alphabétique des noms de lieux par unités administratives de niveau décroissant successivement (région, département, arrondissement, canton, commune...). Chaque unité est ainsi identifiée par un code spécifique qui la désigne seule (1). Ce code identifie les unités de façon plus systématique que la seule nomenclature ; il constitue un premier classement, il peut être repris sans modification dans un système numérique permettant de traiter les données par ordinateur et repris, avec ou sans informatisation, sur tous les documents statistiques et géographiques du territoire, quels que soient les sujets et les dates de l'enquête, quels que soient les modes de traitement de l'information envisageables.

Une telle identification permet de faire correspondre avec la précision maximale les informations statistiques — recueillies sur fiches, une fiche par unité — et géographiques ; elle permet tous les modes de figuration cartographique, de la plus détaillée et la plus précise à la plus générale, à toutes les échelles ; elle permet de combiner rigoureusement, sur la même carte ou sur des cartes semblables (superposables) des informations d'origines diverses recueillies sur les mêmes territoires, à condition que toutes les informations prises en compte aient respecté la même codification.

(1) Voir chapitre RÉPARTITION DE LA POPULATION, paragraphe 2.1.

Deuxième partie

# **Les outils de la cartographie**



## Chapitre 1

# Les photographies aériennes

La télédétection (littéralement détection à distance) constitue un système d'acquisition de données sur la biosphère et de transformation de ces données en informations utiles à l'homme.

Les données sont obtenues en utilisant les propriétés des ondes électromagnétiques émises, réfléchies ou diffractées par les différents corps observés et sont enregistrées par un *capteur* embarqué à bord d'une plate-forme d'observation aérienne ou spatiale.

L'appareil photographique, qui enregistre sur une surface sensible le rayonnement réfléchi par le sol ou son couvert dans la partie visible et éventuellement infrarouge proche du spectre électromagnétique, fut le premier instrument capteur utilisé et la photographie aérienne demeure la plus répandue des techniques de télédétection.

Le système enregistre les variations spectrales et spatiales des ondes lumineuses issues du soleil et réfléchies par la surface de la terre.

L'information se trouve donc caractérisée par un certain nombre de paramètres propres aux techniques de prise de vue. Il s'agit essentiellement :

- du format de la prise de vue ;
- de l'émulsion photographique utilisée ;
- de la période de prise de vue, notamment la saison (choisie en fonction de l'objectif de la mission) et l'heure (déterminant les ombres).

La focale de l'appareil photographique, la hauteur de vol de l'avion et l'échelle de prise de vue sont liées entre elles par la relation suivante :

$$\text{Echelle} = \frac{\text{Focale}}{\text{Hauteur de vol}}$$

La modification de l'un de ces facteurs doit permettre, selon l'objectif désigné à la mission aérienne, de fixer l'échelle de saisie de l'information. On peut ainsi allonger ou raccourcir la focale, augmenter ou réduire la hauteur de vol.

L'échelle de prise de vue demeure l'élément déterminant de la finesse et de la qualité de l'information : plus l'échelle est grande, plus l'image et sa perception seront fines et détaillées, mais plus il faudra de clichés pour couvrir une surface donnée et plus la vision qu'on aura du paysage sera diséquée et ponctuelle ; plus l'échelle est petite, plus la vision du paysage sera globale et structurée, moins il faudra de clichés pour une surface donnée ; en revanche, l'image perd sa finesse et sa précision.

Soulignons qu'il est toujours possible de procéder à des agrandissements jusqu'à 10 fois l'échelle initiale, quelle qu'elle soit. Actuellement, on essaie d'éviter les couvertures aériennes trop coûteuses en effectuant ces prises de vue à échelle relativement petite (1/100 000) et en travaillant sur des agrandissements.

Le tableau ci-dessous donne un ordre de grandeur du nombre de photographies aériennes nécessaires, selon le niveau d'intervention d'une opération et selon l'échelle, pour couvrir *une seule* bande de prises de vue (format 23 × 23 cm) :

	Niveau national	Niveau régional	Niveau local
Longueur de la bande	500 km	100 km	10 km
Echelles	1/100 000 à 1/50 000	1/60 000 à 1/25 000	1/25 000 à 1/1 000
Surfaces correspondantes	11 500 à 23 000 km <sup>2</sup>	1 380 à 575 km <sup>2</sup>	57,5 à 2,3 km <sup>2</sup>
Nombre de clichés (1)	55 à 110	18 à 45	5 à 110
Pouvoir de résolution au sol (2) en fonction de l'échelle (ordre de grandeur)	3,3 à 1,6 m	2 m à 80 cm	80 cm à 3,3 cm

#### CALCUL DU NOMBRE DES PHOTOGRAPHIES POUR UNE ZONE DONNÉE :

Recouvrement longitudinal : 60 %

Recouvrement transversal : 20 %

$$N = \frac{S \times e^2}{l^2 (1-R_1) (1-R_2)}$$

N = nombre de photographies

S = surface de la zone d'étude

e = échelle moyenne de la couverture

l = côté d'une photographie aérienne

R<sub>1</sub> = recouvrement longitudinal (ici 0,6)

R<sub>2</sub> = recouvrement transversal (ici 0,2)

(si S est exprimé en km<sup>2</sup>, l doit être donné en km).

## 1. SAISIE DE L'INFORMATION

On peut obtenir toutes sortes d'informations à partir de l'enregistrement photographique du « spectacle » de la surface de la terre. Il convient donc de déterminer strictement l'objectif d'une mission aérienne pour fixer notamment l'échelle de prise de vue et de regrouper les objectifs proches pour des motifs évidents d'économie.

On prendra garde que l'échelle de prise de vue dépend de l'altitude *relative* de l'avion et est fonction des légères variations de cette altitude : on considère qu'elle varie de 5 % environ en plus ou en moins de l'échelle indiquée sur les documents.

L'information saisie dépend également de l'émulsion photographique. On utilise actuellement quatre types d'émulsion, souvent de façon combinée deux à deux.

a) Le *panchromatique* enregistre les longueurs d'onde du spectre lumineux visible par l'œil humain (de 0,4 à 0,7 micromètre) et les restitue en noir et blanc. Cette émulsion permet toutes sortes de déterminations mais sa sensibilité réduite dans la gamme des verts la rend moins intéressante en ce qui concerne les couverts végétaux.

L'émulsion panchromatique est de loin la plus utilisée car c'est elle qui fournit le maximum d'informations pour un prix de revient minimal. Certaines missions à but spécifique (par exemple l'étude de milieux hydromorphes : zones d'inondation, pâturages de berges, rizières potentielles, etc.) effectuent simultanément et synchroniquement une prise de vue sur émulsion panchromatique et une prise de vue sur émulsion couleur ou infrarouge.

(1) Ces nombres sont des ordres de grandeur approximatifs pour une prise de vue à 60 % de recouvrement longitudinal.

(2) Émulsion panchromatique standard.

b) L'infrarouge (ou IRP : infrarouge *proche*\*) noir et blanc enregistre les longueurs d'onde comprises entre 0,7 et 0,9 micromètre (1) et permet de mieux différencier les espèces végétales et la nature des sols, de repérer l'eau et les zones humides. Le rayonnement infrarouge perce les brumes peu denses et est d'une grande utilité pour les études en zones tropicales humides, très souvent brumeuses.

c) Les films couleurs enregistrent les longueurs d'onde du spectre visible (0,4 à 0,7 micromètre). Ils sont particulièrement intéressants par temps ensoleillé pour l'étude et l'interprétation de la végétation et des sols. Ces films ont un pouvoir de différenciation élevé et donnent une grande richesse d'information due à la variation de tons proches des couleurs naturelles.

d) Les films infrarouge couleurs (IRC), dans les longueurs d'onde de 0,5 à 0,9 micromètre, combinent les avantages de la couleur et de l'infrarouge. Ils sont utilisés pour distinguer la composition et l'état sanitaire de la végétation forestière, pour l'étude de la pollution de l'eau, pour les études hydrographiques et hydrologiques.

Le choix de l'émulsion affecte le prix de revient de la mission aérienne : si l'on donne à l'émulsion panchromatique l'indice 1, les coûts seront augmentés, pour chacune des émulsions citées, dans les proportions suivantes :

- Infrarouge noir et blanc : 1,2
- Couleurs naturelles : 2,7 à 2,8
- Infrarouge couleurs : 3

Les caractéristiques du film sur lequel s'impressionne le rayonnement lumineux de la surface de la terre jouent donc un rôle particulier dans la spécificité de l'information saisie.

La *période* de prise de vue joue aussi un rôle important : l'étude de la biomasse, par exemple, exigera une mission aérienne en période de montaison dans une région céréalière ; le dénombrement d'animaux en savane boisée se fera plus facilement lorsque les arbres ont perdu leur feuillage, etc. Il convient donc, lors de la commande de chaque mission aérienne spéciale, aussi bien que lors de la commande de la couverture de toute une région, de faire au préalable une étude aussi précise que possible du type d'information que l'on souhaite obtenir d'une part, des formes de sa restitution d'autre part.

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION

La restitution (2) de l'enregistrement photographique se fait sur film transparent ou sur papier positif à partir des négatifs. Il existe plusieurs formes de présentation des photographies aériennes.

### 2.1. Présentation standard

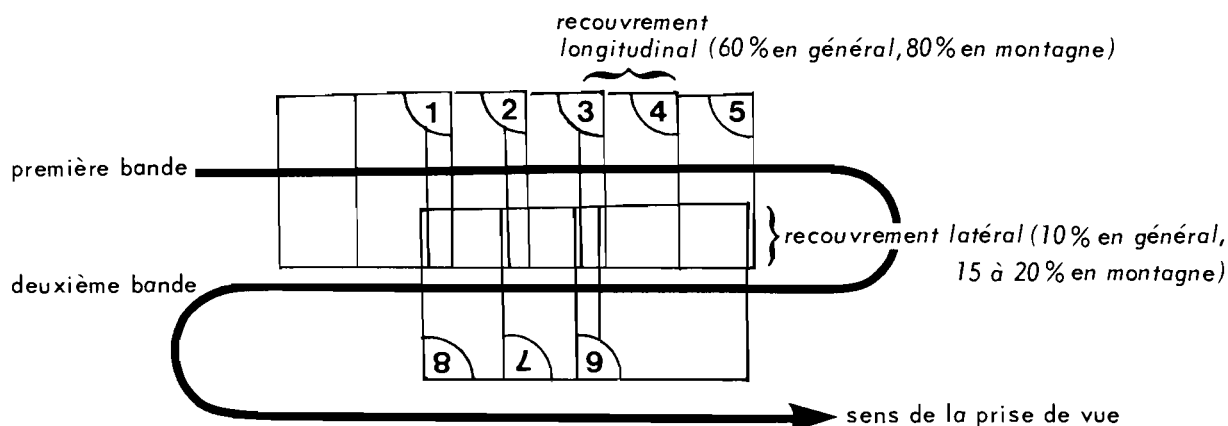
Les documents standard se présentent sous forme de clichés positifs sur papier, format extérieur 24 × 24 cm, format utile 23 × 23 cm. Les bordures sont utilisées pour indiquer les caractéristiques de la mission : lieu, numéro, année de la mission, quelquefois heure de prise de vue, échelle (3) émulsion photographique utilisée, numéro de la photographie aérienne. Les photographies aériennes sont présentées avec un choix de contrastes (doux ou durs) sur des supports brillants ou mats (qui permettent une écriture plus facile et sont moins fatiguants pour la vue) ; le plus souvent sur des papiers mi-mats, qui constituent une solution intermédiaire. Les photographies se superposent de façon à permettre une lecture stéréoscopique par couples de photographies.

Le plan de vol et par conséquent la numérotation des clichés se présente comme suit :

(1) Les longueurs d'onde supérieures à 0,7 micromètre environ ne sont pas perceptibles par l'œil humain.

(2) Il existe une grande variété de présentation des photographies aériennes selon les « fabricants » ; les standards que nous citons ici sont ceux de l'IGN-Paris, principal fournisseur de photographies aériennes dans le monde francophone.

(3) Échelle indiquée en centièmes : l'indication 125 signifie une échelle 1/12 500.



Les photographies aériennes de deux bandes successives ont leurs indications marginales opposées.

La prise de vue s'effectue ainsi en respectant un recouvrement de photo à photo de 60 à 80 % selon le relief du terrain ; un recouvrement de bande à bande de l'ordre de 10 à 20 % vient compléter le recouvrement nécessaire à la correction des déformations propres à la saisie photographique : inclinaison accidentelle de l'axe de l'appareil, dérive, distorsions dues à la lentille, courbure de la terre.

Chaque mission de prise de vue aérienne fournit un *tableau d'assemblage* des photographies, généralement sur fond de carte topographique, qui permet de repérer telles photographies nécessaires à un examen ponctuel.

Les photographies aériennes de *format standard* couvrent les territoires suivants, selon les échelles :

Echelle	1/100 000	1/50 000	1/25 000	1/10 000	1/5 000	1/2 000
Dimension sur le terrain du côté de la photographie	23 km	11,5 km	5,75 km	2,3 km	1,15 km	500 m
Superficie couverte par le cliché	529 km <sup>2</sup>	264,5 km <sup>2</sup>	33 km <sup>2</sup>	5,29 km <sup>2</sup>	3,3 km <sup>2</sup>	25 ha

## 2.2. Assemblage (mosaïque sommaire)

L'assemblage est une technique de présentation des photographies aériennes utilisable lorsque l'objectif est qualitatif et non quantitatif. En effet, la photographie aérienne est une *perspective conique* dont les déformations, nulles au centre du cliché, importantes sur les bords, sont fonction de la rotondité de la terre, du relief, de la focale de l'objectif de prise de vue. Aucune mesure géométrique n'est exacte sur un simple assemblage.

## 2.3. Mosaïque contrôlée

La mosaïque contrôlée est un assemblage de clichés ayant été préalablement remis à l'échelle moyenne, c'est-à-dire sur lesquels on a reconnu les coordonnées xy et l'altitude z d'un certain nombre de points. Même dans ce cas, les défauts inhérents au relief du terrain ne sont pas corrigés et peuvent introduire des erreurs planimétriques. Pour des mesures précises il faudra faire une orthophotographie.

## 2.4. Ortho-photographie

Pour éliminer les déformations causées par le relief (déplacement planimétrique et variation d'échelle) et si l'on veut effectuer des mesures précises, il est nécessaire de procéder à une correction

systématique (on établit en particulier un *fichier des altitudes*). On obtient alors un document dont l'aspect est celui d'une photographie aérienne et qui possède les qualités métriques d'une carte, l'ortho-photographie ; l'assemblage constitue un ortho-photoplan, souvent présenté avec des surcharges indicatrices, tracées en blanc sur le fond photographique : courbes de niveau, toponymie, etc.

Le prix de l'ortho-photographie est quatre à huit fois plus élevé que celui des mosaïques. L'information ainsi restituée sert notamment à l'établissement de plans cadastraux.

### 3. MAITRISE ET UTILISATION DE L'INFORMATION

La *lecture* et l'*analyse* de l'information ainsi restituée dépendent de l'objectif assigné à la mission aérienne. Selon cet objectif (dénombrements, calculs de surfaces, simple localisation, lecture analytique, etc.) on mobilisera des moyens plus ou moins sophistiqués et importants en personnel et en matériel. On distingue ci-dessous la lecture préliminaire, la lecture stéréoscopique et la photo-interprétation.

#### 3.1. La lecture préliminaire

La lecture préliminaire correspond à l'opération d'identification qui répond à la question élémentaire « *où est quoi ?* » à un moment donné. On utilise la lecture simple à l'œil nu pour le repérage et éventuellement l'identification des caractères généraux d'un paysage ; par exemple : structure d'un terroir villageois ou d'un tissu urbain, organisation des voies de communication, répartition de l'habitat, réseau hydrographique, etc. Soulignons que les clichés n'ayant subi aucune correction préalable, les mesures de distance — donc de superficie — sur une photographie aérienne ne peuvent en aucune manière remplacer un relevé sur le terrain.

La lecture simple est en général une première étape de l'interprétation, qui prélude à des études plus approfondies effectuées soit sur le terrain soit sur des couples stéréoscopiques déterminés d'après cette lecture simple comme échantillon ou pour leur intérêt particulier.

#### 3.2. La lecture stéréoscopique

C'est l'*utilisation essentielle* des documents photographiques. La lecture stéréoscopique des couples de photographies se fait à l'aide d'un appareil binoculaire appelé stéréoscope (1). La stéréoscopie permet la vision exagérée du relief et de la texture des objets, vision qui constitue la base de la photo-interprétation.

La vision en relief du terrain et des objets permet de distinguer les formes du modelé et, selon l'échelle, la taille relative et la texture des espèces végétales — partant leur différenciation —, la hauteur relative des habitats, etc. L'exagération du relief permet de voir de faibles pentes et des textures fines. Le stéréoscope donne en outre un grossissement utile à l'examen des photographies aériennes.

La lecture stéréoscopique est indispensable aux opérations de photo-interprétation spécialisées ; mais à un moindre niveau de spécialisation et d'expérience, et mieux que la lecture simple, elle prépare efficacement aux travaux du spécialiste et donne au non-spécialiste des informations préalables ou complémentaires extrêmement utiles : examens morphologiques, inventaires et dénombrements, repérages précis. Si la lecture est faite sur des couples stéréoscopiques géométriquement corrigés, elle permet une ébauche d'analyse quantitative.

Lecture simple et lecture stéréoscopique constituent le point d'appui essentiel des études qui se déroulent principalement sur le terrain. Il faut savoir que s'il existe une carte topographique du terrain faite d'après photographie aérienne (c'est maintenant le cas général), ces dernières sont souvent à plus grande échelle, donc plus détaillées et plus riches d'informations *qualitatives* que la carte topographique.

Le véritable travail d'interprétation peut cependant aller beaucoup plus loin.

#### 3.3. La photo-interprétation

La photo-interprétation est une analyse déductive qui fait appel aux ressources du raisonnement, des connaissances, de la spécialisation de l'interprète, à sa logique et à son expérience. Le photo-

(1) Il en existe un grand nombre de modèles. Les plus simples et non les moins efficaces (stéréoscopes de poche) ne sont pas plus encombrants qu'une paire de lunettes, coûtent 100 francs français environ et on apprend à s'en servir en cinq minutes.



interprète commence son étude par les deux étapes précédentes, indispensables à une démarche qui va du général au particulier, puis il applique les clefs d'interprétation dans sa discipline. Sur la base de ce qu'il connaît et sur la base des informations recueillies sur le terrain, il repère les structures, distingue les systèmes, établit les relations qualitatives et spatiales entre les ensembles connus et inconnus. Cette interprétation débouche sur la classification et la modélisation de l'information.

L'interprétation est fondée sur l'analyse de certains éléments de l'image dont les plus importants sont :

- la texture des objets, qui permet leur classification ; la finesse de leur perception dépend de l'échelle de prise de vue ;
- la structure de l'image, dont la définition est le fruit d'une bonne connaissance du terrain d'une part, de la classification des textures d'autre part : ainsi, l'analyse de la gestion spatiale d'un terroir villageois se fait en distinguant des modes d'organisation déterminés par l'organisation entre terres cultivées, jachères, terres incultes, aires d'habitat, etc. ;
- les teintes et les tonalités, qui présentent un intérêt d'autant plus grand que l'échelle de prise de vue est plus petite ;
- les critères quantitatifs, qui expriment sous forme de nombre les informations enregistrées par la photographie aérienne, telles que la hauteur, le nombre, la densité et la répartition des objets visibles et identifiés sur le cliché.

Les relations caractéristiques existant entre les différents critères de l'image photographique d'un objet examiné au stéréoscope et son homologue reconnu sur le terrain constituent les clés d'interprétation indispensables pour guider le photo-interprète dans son travail.

Les résultats des travaux de photo-interprétation sont presque toujours restitués sous forme cartographique. Selon les besoins du demandeur, cette restitution peut associer aux résultats proprement dits un *fond de carte* portant les indications complémentaires jugées nécessaires ou utiles. Ce fond peut être :

- la carte topographique de base ou l'une de ses dérivées, portant tous les éléments de repérage sur le terrain ;
- une mosaïque de photographies aériennes ou un ortho-photo-plan du territoire étudié ;
- une carte thématique portant les indications spécifiques utiles à une compréhension globale des phénomènes abordés (répartition de la population, morpho-pédologie, indications climatiques ou autres...).

Il est courant que ces données (résultats de la photo-interprétation et fond de carte) soient présentées sur des supports transparents (sous la forme de *films positifs*), ce qui permet de les superposer à d'autres informations à même échelle ou d'en imprimer des exemplaires de travail à bas prix.

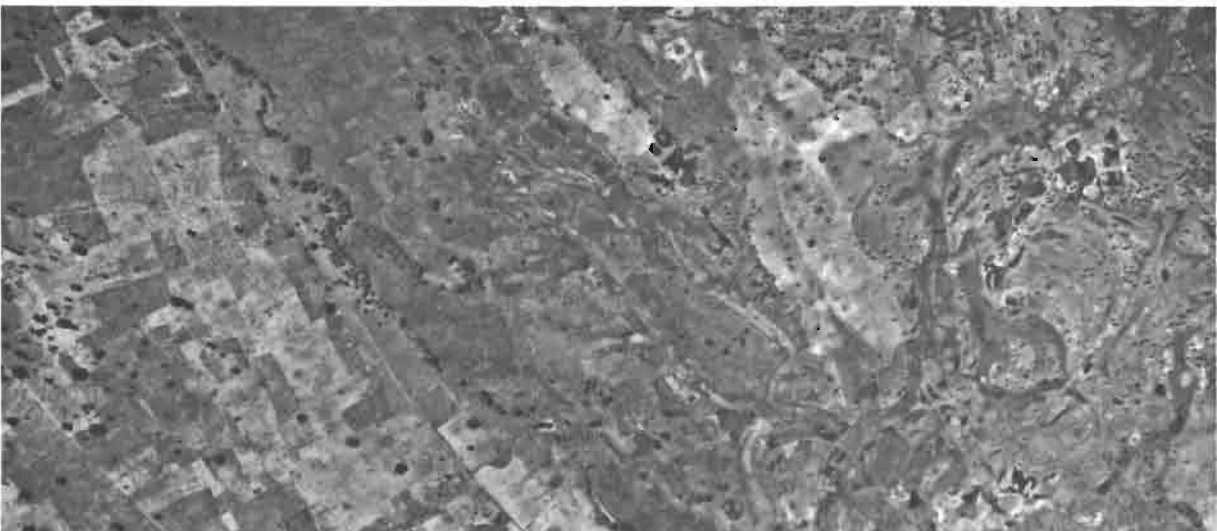
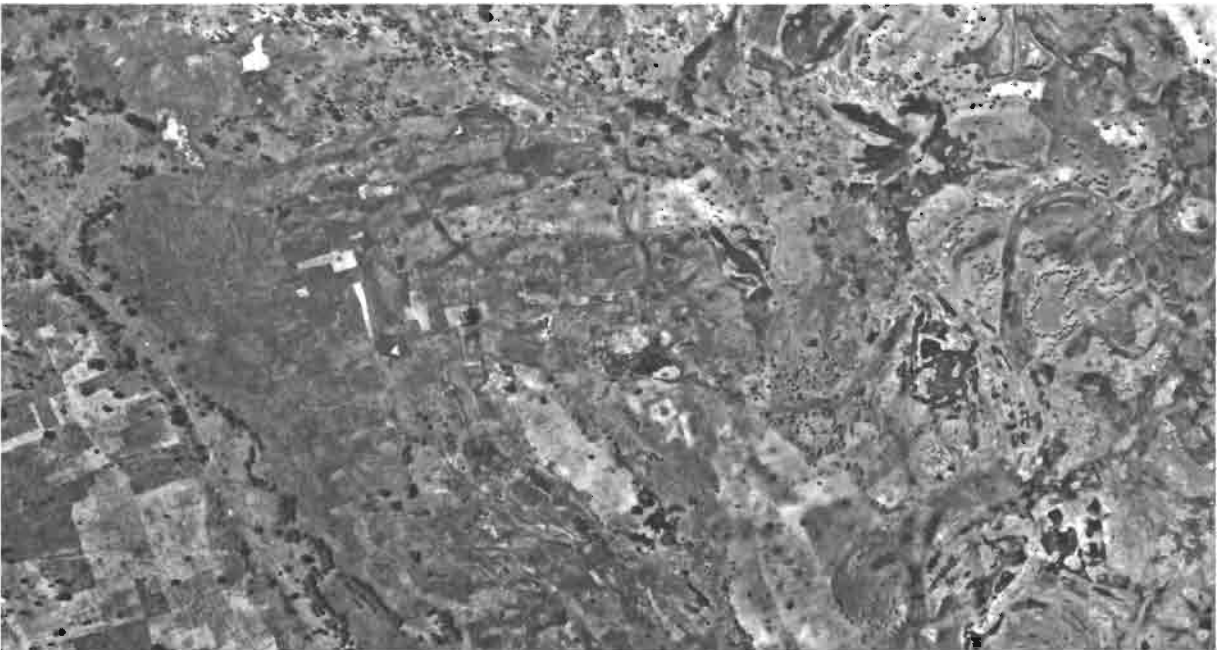
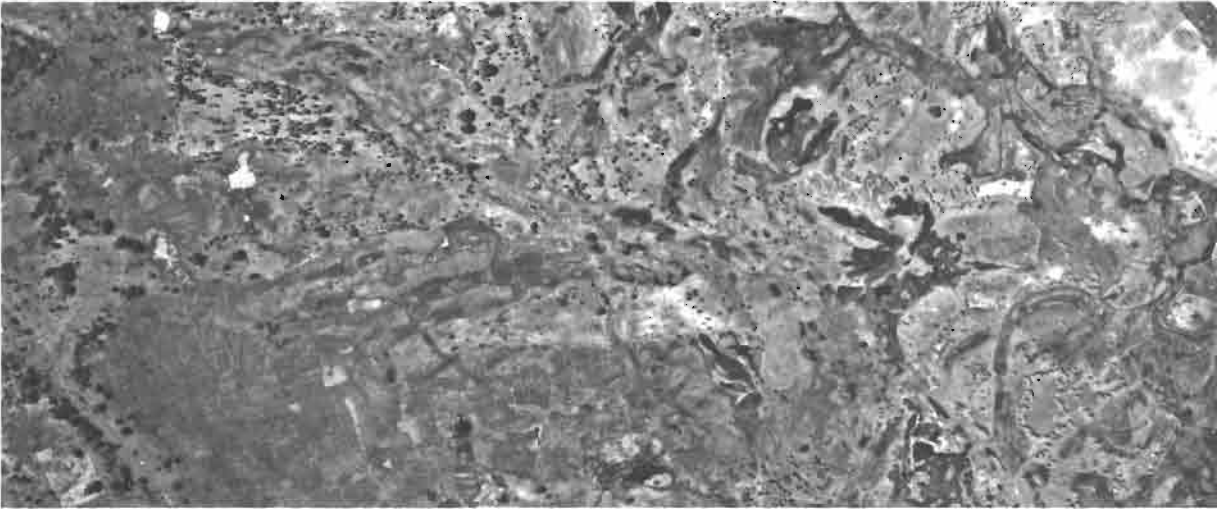
#### **Montage stéréoscopique de trois clichés, mission 73 NIG 020/100, Institut Géographique National, Paris.**

Ces photographies aériennes présentent, à l'échelle 1/10 000, une partie de la vallée du *Dalol Maouri* en République du Niger (arrondissement de Gaya) et sa bordure de rive gauche.

La mission aérienne a été effectuée en 1973 pour donner des informations qualitatives et quantitatives (espèces cultivées, surfaces et rendements) sur l'utilisation du sol dans cette région, susceptible de connaître un développement agricole important. Sur les clichés, on distingue nettement les terres de plateau par leur parcellaire jointif de grandes dimensions sous cultures non irriguées des terres de la vallée, ensemble complexe d'écoulements hydrographiques barrés par des accumulations naturelles, de mares non encore inondées et d'îles. Ces dernières sont occupées par des champs de petite taille.

La lecture au stéréoscope de cet ensemble de clichés fait apparaître de nombreux détails significatifs tels que des différences dans la texture des champs cultivés, des nuances de hauteur des arbres isolés...

L'interprétation des clichés, appuyée par des observations de terrain très précises faites au moment même de la prise de vues, a permis de dresser une carte des espèces cultivées : mil, sorgho, haricots, seuls ou en associations, riz, canne à sucre, vergers de manguiers ; de faire l'inventaire des espèces utiles conservées : palmiers rôniers notamment, dans la vallée ; de repérer les jachères et les espaces non cultivés.



↔ NORD - 1/10.000

## 4. LES APPLICATIONS DE LA PHOTO-INTERPRETATION

Les applications de la photo-interprétation à l'analyse du territoire sont nombreuses et touchent toutes les disciplines et tous les secteurs : le tableau ci-dessous en donne un aperçu (d'après *Le Memento de l'Agronome Tropical*, BDPA-Ministère de la Coopération, Paris, 1980, page 184).

### MILIEU HUMAIN

#### L'homme et son milieu

- **Géographie physique :**
  - délimitation des régions biophysiques homogènes et des régions socio-économiques
  - occupation physique du sol
  - modification du littoral
  - évolution de la sédimentation à l'embouchure des fleuves ou dans les lacs
- **Géographie humaine :**
  - localisation des zones habitées
  - déplacements de population
  - densité de population
- **Traits socio-économiques :**
  - structure des villages et des habitations
  - nature et agencement des habitations, des cultures et du parcellaire
  - aménagement des lots ou quartiers
  - localisation et répartition des activités humaines, occupation fonctionnelle du sol
  - délimitation des zones pauvres ou prospères
- **Archéologie**
- **Utilisations militaires**
- **Evolution des structures humaines**

#### Génie civil, aménagements fonciers

- **Avant-projets de réseaux :** routes, voies ferrées, canaux, lignes d'énergie, canalisations, brise-vents, haies, etc.
- **Recherche de sites d'implantation :** centrales pour la production d'électricité, usines, barrages, ports maritimes et fluviaux, ponts, villes nouvelles, etc.
- **Réseaux de drainage et d'irrigation**
- **Protection des sols et contre l'eau**
- **Protection des côtes et des rives des fleuves**
  - Evaluation et observation du suivi de l'impact des grands travaux sur le milieu naturel
- **Remembrement**
- **Extractions à ciel ouvert**
- **Dépôts de déchets solides**

#### Aménagements urbains et suburbains

- **Recherche de zones à vocation :** résidentielle, industrielle, commerciale, institutionnelle, récréative, transports et communications
- **Localisation et répartition des différentes fonctions urbaines,** étude du tissu urbain
- **Délimitation des zones d'équilibre rural-urbain**
- **Etude des interfaces**
- **Etude d'évolution de la cité dans le temps**
- **Protection des sites naturels et touristiques**
- **Densité de l'urbanisation, degré d'imperméabilisation des sols**
- **Densité de la végétation** en milieu urbanisé
- **Préparation des éléments de base des schémas directeurs d'aménagements urbains**
- **Préparation des éléments de base des plans d'occupation des sols (POS) et des plans d'aménagement rural (PAR)**
- **Analyse des feux de circulation et aide à l'estimation du bruit dû au trafic**

### MILIEU NATUREL

#### La Terre

- **Le sous-sol**
  - géologie de surface (lithologie)
  - aide à la recherche minière et pétrolière
  - volcanisme et thermalisme
- **Le sol**
  - écozones
  - géomorphologie, étude des formes et des structures du relief
  - pédologie, aptitudes des sols
  - sédimentation
  - glissements de terrain
  - érosion et désertification
  - étude des pentes
  - zones de risques de catastrophes naturelles
  - protection et restauration
- **Carte topographique**

#### Les Eaux

- **Eaux continentales**
  - réseau hydrographique, bassins-versants
  - eaux souterraines
  - zones humides (localisation et catégorie)
  - inondations et zones inondables
  - protection contre les eaux
  - manteaux neigeux et glaciaire
  - pollution des eaux (turbidité), rejets thermiques
  - eutrophisation (1) des lacs
- **Eaux marines**
  - géologie sous-marine des hauts-fonds
  - interfaces eau douce - eau salée
  - étude des côtes, position et nature du linéaire côtier, érosion, alluvionnement
  - marées et courantologie
  - bathymétrie des eaux peu profondes
  - algues et herbiers
  - sources d'eau douce sous-marines
  - estuaires et deltas
  - pollution des eaux (rejets, hydrocarbures)

#### La Végétation

- occupation biophysique du sol
- problèmes phytosanitaires (état de contrôle de l'efficacité des traitements)
- atteintes dues à la pollution atmosphérique
- sécheresse
- zones favorables au développement de certains types de faune et de parasites
- aide à la délimitation des espaces protégés ou à protéger

(1) Eutrophisation : en milieu lacustre, carence en oxygène et opacification de l'eau dues à un apport excessif en matières organiques.

## MILIEU AGRICOLE

### Agriculture

- occupation du sol
- inventaires culturaux
- aptitudes agricoles
- lutte phytosanitaire
- terres irriguées et drainées
- abandon de terres cultivées
- défrichements, abattis et brûlis
- introduction et mécanisation de certaines cultures
- structures agraires
- exploitation intensive ou extensive

### Elevage

- inventaire et classement des pâturages selon la qualité
- inventaire de points d'eau
- pâturages utilisés et potentiels
- circuits de pâturages
- protection des sols
- comptage du bétail
- feux de brousse

### Sylviculture

- inventaires avec identification des essences
- classement selon la densité
- estimation du volume de bois sur pied
- lutte phytosanitaire et contrôle de son efficacité
- lutte et prévention contre les incendies, estimation des dégâts
- surveillance de la régénération naturelle ou artificielle, reboisement
- surveillance des coupes
- protection

Les principaux secteurs d'utilisation aux fins de planification et d'aménagement du territoire sont cités ci-dessous :

#### – Aptitude et vocation des sols

La photo-interprétation débouche en particulier sur une classification des sols en fonction de leurs caractéristiques morpho-pédologiques et par suite sur l'identification de *zones homogènes* du point de vue des politiques agricoles et/ou de l'aménagement du territoire.

#### – Occupation et utilisation des sols

La photo-interprétation identifie les différentes formes d'utilisation de l'espace : la nomenclature d'occupation des sols retient de vingt à trente classes distinctes allant des milieux vierges aux milieux les plus transformés.

#### – Contraintes d'érosion

La combinaison des deux lectures ci-dessus permet au photo-interprète d'identifier les aires potentiellement vulnérables aux processus de dégradation, qu'ils soient d'origine naturelle ou provoqués par les activités humaines.

#### – Aménagement du territoire

Toutes les formes d'occupation ou d'utilisation de l'espace peuvent faire l'objet d'une interprétation thématique débouchant notamment sur une cartographie d'inventaire. On relèvera en particulier la possibilité de présenter :

- la répartition de la population en partant de la répartition de l'habitat ;
- les ressources en eaux de surface à partir du repérage des bassins-versants et du réseau hydrographique ;
- un inventaire forestier qui va de la cartographie des formations forestières jusqu'à l'identification des essences et l'évolution du potentiel forestier ;
- le recensement des voies de communication, du réseau villageois et urbain, etc.

#### – Prévision et prospective

La photo-interprétation fournit des dénombrements et des mesures : mesures de surface et de rendement, prévisions de récolte et de ressources alimentaires et fourragères ; des éléments de mise à jour, des informations sur la dynamique des phénomènes par comparaison de photographies aériennes prises à des intervalles de temps convenables...

Enfin, l'une des applications essentielles de la photo-interprétation prise dans son sens le plus général (l'exploitation des photographies aériennes) est la *photogrammétrie*. La photogrammétrie est un ensemble de techniques complexes, très largement automatisées et informatisées, qui restitue dans les trois dimensions de l'espace la position des objets figurés sur les photographies aériennes. De la photogrammétrie est directement issue la *carte topographique*, indispensable à tous les niveaux de l'aménagement et de la planification. Cette utilisation est citée ici pour mémoire et traitée plus largement dans le chapitre CARTE TOPOGRAPHIQUE.

A cause de leur prix de revient élevé, les produits originaux d'une mission aérienne (les négatifs des photographies) sont des documents très précieux qui doivent être traités avec soin : leur conservation est assurée dans des conditions contrôlées de température, d'humidité et d'éclairement ; leur utilisation, pour des tirages, des duplications, des agrandissements, etc. est faite avec précaution le plus souvent dans des laboratoires spécialisés pourvus d'un matériel garantissant la qualité des produits et des originaux.

## FICHE TECHNIQUE

### UN EXEMPLE D'INTERPRÉTATION DE PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES

#### PRÉSENTATION :

Deux photographies aériennes, émulsions panchromatique (à gauche) et infrarouge noir et blanc (à droite).  
Identification des photographies : mission NA 33 XI, focale 125 mm  
Date : 1960-1961  
Échelle : 1/50 000 (1 cm = 500 m)  
Numéros des couples stéréoscopiques : 165 et 166.  
Localisation : nord de la région de Ouesso, République Populaire du Congo.  
Surface couverte : 6 x 9 km, soit 54 kilomètres carrés.  
Objectif de l'interprétation : mise en évidence d'une série de formations végétales sur sol ferme et sur sol marécageux bordant la vallée de la Sangha (affluent du Congo). L'interprétation présentée ici est issue d'une opération d'identification forestière dont les caractéristiques sont signalées plus loin.

#### OBJET GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE :

L'interprétation présentée ci-dessus appartient à une réalisation opérationnelle mise en œuvre par le Centre Technique Forestier Tropical (CTFT), appelée « Inventaire des ressources forestières de la région de Ouesso, République Populaire du Congo - 1972 ».

La région inventoriée couvre 1 180 000 hectares (1 800 kilomètres carrés) et appartient au vaste bloc forestier équatorial entourant la cuvette congolaise.

La photo-interprétation s'est inscrite parmi les études préliminaires aux opérations de sondage sur le terrain. Elle a permis d'avoir une bonne connaissance de la région à inventorier : relief, réseau hydrographique, moyens de pénétration.

Six missions photographiques échelonnées sur plusieurs années (1953 à 1962) ont été utilisées pour couvrir la zone d'inventaire. Les échelles des clichés sont 1/50 000 et 1/65 000. Selon les années de prise de vue, l'émulsion photographique a été soit panchromatique seule (avant 1958) soit panchromatique et infrarouge. 620 photographies ont été étudiées.

Les résultats ont été présentés sur cartes au 1/50 000.

#### INTERPRÉTATION :

En fonction d'un certain nombre de critères photographiques (ton dominant, textures, formes, structures) et de critères de localisation, il a été possible de procéder à la délimitation de *zones d'égale apparence*. Un certain nombre de ces unités ont pu être identifiées directement et attribuées à des formations déjà connues, d'autres ont dû être identifiées sur le terrain.

##### *Forêt dense sur sol ferme (1 et 1 b)*

L'importance du couvert forestier et la situation topographique sont les principaux critères d'identification de cette formation. Elle présente sur les photographies à émulsion panchromatique une tonalité gris moyen, plus foncée sur infrarouge et une texture irrégulière et discontinue due à la différence de hauteur des grands arbres.

Cette tonalité n'est pas uniforme : on distingue dans ce type de formation une picturation blanche plus ou moins dense formée par des houppiers généralement défeuillés ou portant des feuilles jeunes. Cette plus ou moins grande fréquence de points blancs dénote la présence d'essences à feuilles caduques et permet de différencier la forêt décidue (1) et la forêt sempervirente (1 b)).

##### *Forêt dense sur sol marécageux (2)*

Elle borde les rives des cours d'eau, les bas-fonds ; elle occupe les sols mal drainés. La teinte gris clair de l'émulsion panchromatique, plus foncée sur l'infrarouge, donne un contraste très net avec la forêt dense sur sol ferme qui l'entoure. La strate moyenne domine, avec quelques arbres de l'étage supérieur, ce qui donne une texture assez irrégulière du couvert. Parfois, des trouées très foncées sont les indices de la présence probable d'eau.

##### *Peuplement de macrolobium (Gilbertiodendron dewevrei) (3 et 3 b)*

On les trouve sur sol ferme (3) ou sur sol humide (3 b). Dans les deux cas, la tonalité et la texture sont semblables. La tonalité gris moyen sur l'émulsion panchromatique ne permet pas de différencier nettement ces peuplements de la forêt dense environnante ; sa texture seule (plus compacte), sa couverture irrégulière (les couronnes de l'étage supérieur alternent avec celles de l'étage moyen) facilitent l'identification de ces groupements. Ils sont plus facilement identifiables sur l'infrarouge (gris foncé, texture irrégulière légèrement pommelée).

Cette essence est caractéristique et facilement identifiable sur photographies aériennes, contrairement aux autres essences qui doivent être identifiées sur le terrain.

##### *Zone périodiquement inondable (4)*

Cette formation intermédiaire entre les forêts denses sur sol ferme et les forêts denses sur sol marécageux est presque toujours située dans des zones plates, à proximité des cours d'eau à vallées larges. Son couvert est discontinu. Les arbres de l'étage supérieur semblent avoir des couronnes plus petites qu'en forêt dense sur sol ferme.

##### *Recru forestier (5)*

Zone en cours de reforestation dans laquelle apparaît une strate moyenne avec quelques arbres de l'étage supérieur. Elle se rencontre près des routes et des villages et recouvre souvent d'anciennes cultures ou d'anciennes zones forestières exploitées. Ses limites se distinguent bien ; la tonalité est généralement gris moyen ou gris foncé sur l'émulsion panchromatique, plus claire avec des taches blanches sur l'infrarouge. Son couvert discontinu lui donne un aspect granuleux.

##### *Cultures et jachères (6)*

Situées presque toujours près des villages ou en bordure de route et de sentier, le long des rivières, elles apparaissent sur l'émulsion panchromatique et l'émulsion infrarouge en teintes différentes, allant du blanc au gris moyen suivant leur ancienneté. En général, les limites sont, sinon géométriques, du moins bien nettes. Une ponctuation grise ou noire signale la présence d'arbres laissés sur place.

##### *Sables (7)*

Ils sont facilement discernables : leur localisation et leur tonalité très claire sur l'émulsion panchromatique permettent une identification précise.

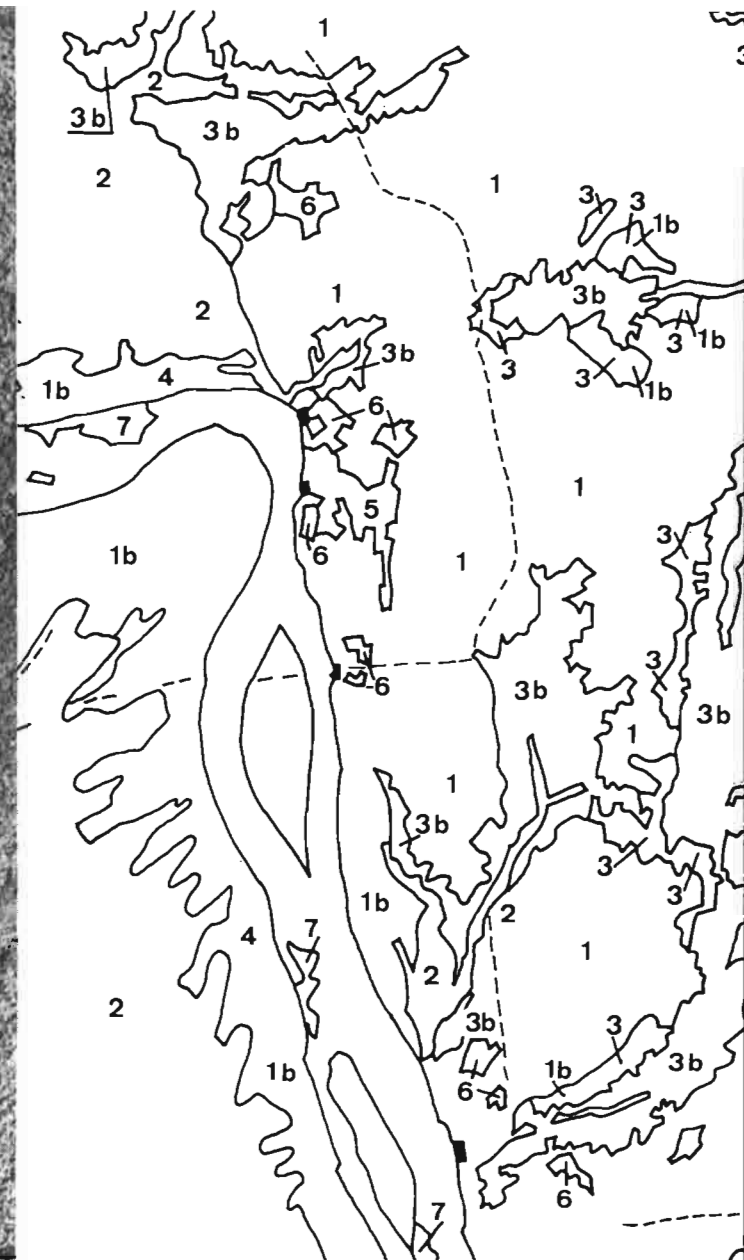




Emulsion panchromatique



Emulsion infra-rouge



Interprétation, voir légende dans le texte  
(Centre Technique Forestier Tropical)



## Chapitre 2

# La télédétection spatiale

Depuis quelques années, nous disposons d'appareils capables d'enregistrer l'énergie provenant de la surface de la terre ou de son atmosphère dans la plupart des domaines utilisables du spectre électromagnétique. Les progrès en matière de technologie des engins spatiaux permettent aujourd'hui d'embarquer ces capteurs à bord de plates-formes d'observation satellisées autour de la terre, stationnaires ou à défilement.

Les données ainsi collectées sont l'objet de traitements plus ou moins sophistiqués à la suite desquels elles se présentent sous forme d'images, de cartes ou de résultats numériques. Elles donnent une nouvelle vision de notre planète et de son atmosphère et sont utiles à de nombreux thématiques, notamment dans les domaines de la météorologie, de l'océanographie, de la géologie, de l'hydrographie, de l'agriculture, de l'étude de la végétation et de l'aménagement du territoire.

Les principaux avantages de la télédétection spatiale sont :

- son approche globale des phénomènes étudiés ;
- la répétitivité du passage des satellites ou, pour les satellites géostationnaires, leur position fixe, permettant d'étudier les évolutions ;
- un coût théoriquement moindre et une rapidité de restitution des résultats plus grande par rapport aux systèmes d'information classiques.

En particulier, la télédétection spatiale apparaît comme un excellent instrument d'information pour les pays très vastes et pour les pays en voie de développement ne disposant pas de cartes détaillées ou de renseignements statistiques nombreux.

On trouvera en annexe de ce chapitre une description des principaux satellites d'observation de la terre dont les données sont désormais couramment utilisées.

### 1. SAISIE DE L'INFORMATION

Les fusées-sondes lancées après la Première Guerre mondiale, furent les premiers engins spatiaux à fournir des images de télédétection. Ces fusées pouvaient atteindre des altitudes élevées (de l'ordre de 200 km alors que les ballons libres stratosphériques culminent entre 30 et 40 km) avec des trajectoires définies, mais avaient pour principal inconvénient un temps d'exploitation très court.

Actuellement la plus grande partie des informations de télédétection spatiale provient de satellites non habités. Ces satellites peuvent être classés selon les caractéristiques, fixées avant le lancement, de l'orbite qu'ils décrivent. Deux types d'orbites circulaires, d'altitude constante, permettant d'observer la terre ou son atmosphère, sont particulièrement adaptés à la télédétection.

Les satellites quasi polaires, *héliosynchrones*, survolent à la même heure solaire tous les points du globe situés à une même latitude. Ainsi, ils couvrent l'ensemble de la surface terrestre, à l'exception des régions polaires pour certains d'entre eux, et les conditions d'éclairement pour des zones



de même latitude sont identiques aux mêmes dates. La répétitivité de leurs observations dépend de leur altitude et de l'angle de vue du capteur utilisé (elle est de 12 heures pour les satellites météorologiques de la série ITOS-NOAA, 18 jours pour les satellites de ressources terrestres de la série Landsat). Ils évoluent entre 500 et 1 500 kilomètres d'altitude et leur durée de vie va de une à plusieurs années.

Les satellites *géostationnaires* (cas de Météosat) gravitent à une altitude voisine de 36 000 kilomètres, pour laquelle la période de révolution est celle de la terre. Placés sur une orbite équatoriale, leur mouvement est compensé par la rotation terrestre et ils apparaissent immobiles au-dessus d'un point donné de l'équateur. Leur position fixe et leur altitude permettent de surveiller en permanence une grande partie du globe (la couverture complète du globe, à l'exception des zones polaires, peut être réalisée par trois satellites de ce type). Leur longévité est plus grande que celle des satellites héliosynchrones mais la finesse spatiale de leurs observations est nettement inférieure, raison pour laquelle ils sont surtout utilisés en météorologie.

Enfin les engins habités (Apollo 9, Skylab et la navette spatiale) permettent à l'homme d'intervenir directement pour contrôler le fonctionnement des capteurs ou éventuellement les réparer. Ils ont un rôle important à jouer dans les domaines de l'expérimentation de nouveaux appareils ou de l'étude de phénomènes ponctuels.

Les différents satellites dont on vient de parler ne jouent le rôle que d'une plate-forme à bord de laquelle est embarqué un capteur. Le premier capteur dont l'homme put disposer fut son propre œil. Cependant le système humain présente deux inconvénients majeurs : sa capacité de mémorisation est limitée à celle du cerveau et l'œil n'est sensible que dans une petite région du spectre électromagnétique, appelée pour cette raison domaine du visible (c'est aussi le domaine de la photographie).

Actuellement, on dispose de capteurs capables d'explorer une région bien plus étendue du spectre électromagnétique. Toutefois, leur utilisation est limitée par l'absorption atmosphérique sauf dans le cas où c'est justement l'atmosphère que l'on étudie. Quatre *régions* du spectre pour lesquelles l'absorption atmosphérique est peu importante et appelées pour cette raison *fenêtres de transmission* sont surtout utilisées en télédétection spatiale :

- entre 0,4 et 1,1 micromètre dans le domaine du *visible* et de l'*infrarouge proche* (dans ce domaine c'est l'énergie solaire réfléchiée par les objets que l'on enregistre) ;
- entre 3,5 et 4,2 micromètres dans l'*infrarouge moyen* ;
- entre 10 et 12,5 micromètres dans l'*infrarouge lointain*.

Dans ces deux dernières fenêtres de transmission c'est l'énergie émise par les objets que l'on mesure. Cette émission est directement reliée à leur température en fonction de leur nature. Cependant, dans l'infrarouge moyen l'énergie réfléchiée provenant du soleil n'est pas négligeable, c'est pourquoi l'on préfère opérer de nuit.

- Entre quelques millimètres et 1 mètre dans le domaine des *micro-ondes*.

Dans ce domaine c'est l'énergie émise par les objets ou provenant d'une source d'éclairement artificielle et réfléchiée par ceux-ci que l'on enregistre. Il est particulièrement intéressant car il permet de s'affranchir des conditions météorologiques (nuages et pluie).

Les capteurs peuvent être classés selon divers critères :

- Capteurs *monospectraux* ou *multispectraux* selon qu'ils opèrent dans une seule bande ou plusieurs bandes séparées de longueurs d'onde. Chaque bande est habituellement appelée *canal*.
- Capteurs *passifs* ou *actifs* selon que l'énergie mesurée provient d'une source d'éclairement naturelle ou artificielle : énergie solaire réfléchiée et énergie émise par les objets ou énergie émise par le capteur et réfléchiée par les objets (cas des lasers et des radars).
- Capteurs *imageurs* ou non selon qu'ils reconstituent une image par balayage bidimensionnel ou que le rayonnement mesuré est global.

Les caméras photographiques qui enregistrent une image sur une émulsion peuvent être monospectrales ou multispectrales. Elles sont utilisées ainsi que les caméras vidéo dans le domaine du visible et du proche infrarouge.

Les radiomètres, qui enregistrent directement la puissance du rayonnement, ont l'avantage de pouvoir explorer toutes les régions du spectre utilisables. Les radiomètres multispectraux à balayage sont les capteurs les plus utilisés actuellement en télédétection spatiale. Pour les satellites à défilement la formation de l'image résulte de l'avancement de la plate-forme et d'un balayage mécanique ou électronique perpendiculaire à la trajectoire du satellite. Cependant, dans le domaine des micro-ondes l'émission des objets est faible d'où l'intérêt d'employer des capteurs actifs.

Les radars sont des capteurs actifs opérant dans ce dernier domaine et possédant leur propre source d'éclairement. Les radars à antenne latérale sont des radars imageurs dont le pouvoir de résolution est toutefois limité ; celui-ci est amélioré dans le cas des radars à antenne synthétique.

La quantité et la qualité des informations recueillies dépendent :

- du champ d'observation, fonction de l'altitude de la plate-forme et de l'angle de vue du capteur,
- de la *résolution spatiale* : dimensions du plus petit élément de surface sur le terrain que le capteur peut appréhender,
- du nombre de bandes spectrales,
- de la *sensibilité spectrale* : position et largeur de chacune de ces bandes de longueur d'onde,
- de la *résolution radiométrique* : plus petite différence d'énergie pouvant être mesurée par le capteur.

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION

L'information saisie se présente sous la forme soit de films photographiques soit de signaux électriques exprimant l'intensité du rayonnement mesuré, généralement traduite en valeurs discrètes.

Le plus souvent les données sont retransmises vers la terre depuis le satellite, ce qui implique pour les films photographiques le développement automatique à bord des clichés et leur numérisation à l'aide d'un micro-densitomètre.

La *retransmission* peut s'effectuer soit en temps réel lorsque le satellite se trouve dans le champ d'une station de réception soit en temps différé. Dans ce dernier cas les données sont stockées en mémoire en attendant que le satellite survole une station de réception. Au sol les informations sont enregistrées sur support magnétique, forme sous laquelle on va leur faire subir un certain nombre de *traitements* afin de les rendre utilisables par les différents thématiciens. Ces traitements sont relatifs aux caractéristiques *géométriques* ou *radiométriques* des enregistrements.

Les *prétraitements* sont réalisés systématiquement et comportent certaines corrections géométriques ainsi que des corrections radiométriques (étalonnage et calibration des mesures).

Les données prétraitées peuvent être restituées sous forme d'images noir et blanc obtenues pour chaque bande spectrale ; documents photographiques sur lesquels les différentes valeurs radiométriques sont traduites par différentes teintes de gris. Les *traitements* sont poursuivis à partir des *données numériques* disponibles sous forme de *bandes magnétiques compatibles*. Sur ces bandes sont enregistrées les quantités d'énergie reçue par le capteur pour chaque élément de l'image appelé *pixel\** (abréviation de l'anglais *picture element*) et pour chaque canal.

Les corrections géométriques sont nécessaires lorsque l'on veut disposer de documents cartographiques réguliers ou lorsque l'on désire comparer des enregistrements effectués à différentes dates.

Les traitements portant sur la radiométrie des pixels sont nombreux et plus ou moins complexes, allant de la simple amélioration d'image jusqu'à la classification supervisée.

Les améliorations d'images (accentuation des contrastes, amélioration des contours...) ont pour but de fournir à l'interprète un document plus lisible.

Certains traitements sont orientés vers un thème d'étude précis : accentuation des phénomènes linéaires utiles en géologie, calcul d'un indice de végétation...

Les classifications non supervisées regroupent les pixels ayant des caractéristiques radiométriques proches mais doivent être interprétées.

Au contraire, dans le cas des classifications supervisées, les classes sont représentatives de tel phénomène étudié (la teneur en sédiment des eaux littorales, le type d'utilisation du sol...) car formées en tenant compte de données de terrain recueillies sur des zones test.

Les résultats de ces traitements sont disponibles sous forme de *données chiffrées* décrivant les caractéristiques de la population de pixels étudiée ou sous forme d'*images*. Les images peuvent être restituées sur écran de visualisation par l'imprimante de l'ordinateur, par un traceur automatique ou sur films photographiques.

L'interprétation des *images améliorées* s'effectue sur documents photographiques noir et blanc pour chaque canal ou sur compositions colorées synthétisant les informations de plusieurs canaux, chacun de ces canaux étant représenté par une couleur de base.

Dans le cas des *classifications* on affecte un signe conventionnel ou une couleur différente à chaque classe lors de la restitution.

Enfin, la présence de l'interprète pendant ces traitements en améliore l'efficacité. En effet, les sorties de l'ordinateur (écran de visualisation, imprimante) lui permettent de contrôler les résultats et de modifier les paramètres du traitement jusqu'à ce que les résultats lui paraissent satisfaisants.

### 3. MAITRISE ET UTILISATION DE LA TELEDETECTION SPATIALE

#### 3.1. Maîtrise de la télédétection spatiale

La télédétection spatiale doit être considérée comme un nouvel outil fournissant des informations complémentaires de celles recueillies par les sources de renseignements conventionnelles.

Il faut remarquer cependant d'une part que les techniques mises en œuvre relèvent de technologies de pointe et d'autre part que les données obtenues sont originales, ce qui implique une formation des utilisateurs à leur interprétation.

Actuellement, seuls les USA et l'URSS disposent de moyens suffisants pour réaliser couramment des systèmes complets de télédétection spatiale (lanceurs, satellites, capteurs, stations de réception, stations de traitement). Jusqu'à présent les Etats-Unis ont pratiqué une politique très libérale de distribution de l'information à bas prix. En sera-t-il toujours de même ? Ainsi est posé le problème de *l'accès à l'information*.

La majorité des autres pays doivent ou devront recourir à la coopération internationale, qu'elle soit mondiale pour la réalisation de programmes spatiaux ou régionale pour la mise en place de stations de réception.

Comme on l'a vu, les données peuvent être retransmises au sol en temps réel ou en temps différé. Dans le deuxième cas elles doivent être stockées en mémoire avant la retransmission. La capacité des mémoires de bord étant limitée, les enregistrements ne sont pas systématiques et suivent un programme d'acquisition : la répétitivité réelle d'observation est alors très inférieure à la répétitivité théorique.

Deux solutions permettent de remédier à cet inconvénient : le recours à un système de satellites-relais, acheminant en temps réel les données vers une station de réception, ou la multiplication du nombre de stations de réception. Cependant, celle-ci ne peut être poursuivie à l'infini (plus les satellites ont une orbite basse, moins le champ de réception est étendu et il est difficilement envisageable d'installer de telles stations sur les océans). Toutefois, elle présente l'avantage considérable de *décentraliser la distribution de l'information*.

Mais il ne suffit pas d'avoir accès à l'information, il faut aussi être en mesure de l'exploiter. Pour cela la prise en compte du caractère spécifique des données recueillies par les satellites de télédétection est indispensable. Les renseignements obtenus sont d'ordre géographique, physique et radiométrique : localisation des différents objets observés et quantité d'énergie émise ou réfléchi par ceux-ci dans telle région du spectre électromagnétique. De ces renseignements sont déduites par des méthodes d'analyse plus ou moins sophistiquées des informations relatives à la nature et à l'état des objets.

Trois notions méritent d'être expliquées à ce propos :

a) Les observations ne sont pas ponctuelles. Le pixel, plus petit élément de l'image, a une certaine taille et représente une réalité hétérogène. Par exemple, sur une image Landsat, dont le pixel couvre 60 x 80 m, il n'est pas possible de reconnaître un arbre isolé ; par contre un massif forestier est reconnaissable car l'énergie réfléchi en moyenne par les arbres permet de les distinguer d'autres types de végétation. Ainsi, l'utilisation des images de télédétection dépend du pouvoir de résolution du système d'acquisition.

b) On l'a vu, les capteurs peuvent être monospectraux ou multispectraux. Dans le deuxième cas on dispose d'une mesure pour chacune des bandes de longueur d'onde dans laquelle opère le capteur. Ces mesures permettent de tracer une courbe de l'énergie émise ou réfléchi par les objets en fonction de la longueur d'onde appelée *signature spectrale*. Lorsque le nombre de canaux du capteur augmente, cette courbe peut être tracée avec plus de précision, ce qui permet de mieux appréhender les phénomènes étudiés.

c) Les techniques d'interprétation ne font pas seulement appel aux caractéristiques radiométriques des enregistrements ; la *forme* des objets joue aussi un rôle important. Ainsi, la limite rectiligne entre deux formations végétales permettra de déceler l'existence d'une faille géologique.

Actuellement, de nouvelles méthodes sont mises au point pour exploiter les données de la télédétection spatiale et l'importance du rôle que joueront les satellites comme source d'informations dépend de la *formation des utilisateurs* à ces méthodes.

Les techniques mises en œuvre font plus ou moins appel à des traitements informatiques. Aujourd'hui, l'interprétation visuelle d'images *prétraitées* ou *améliorées* donne souvent de meilleurs résultats que des procédures totalement automatisées (sauf dans le cas où il existe une relation simple entre le thème étudié et les mesures radiométriques). Cette situation s'explique par le fait que l'interprète prend en compte un grand nombre de facteurs autres que radiométriques, notamment la forme des objets, leur répartition, leur emplacement. La reconnaissance automatique des formes n'en est encore qu'à ses débuts et il est peu probable que l'ordinateur, aussi puissant soit-il, puisse un jour remplacer complètement le cerveau humain dans ce domaine.

A ce propos, on peut se poser la question de l'importance des moyens informatiques nécessaires au fonctionnement d'un centre ou d'une cellule de traitement. Deux choix peuvent être envisagés : l'installation d'un petit nombre de centres de traitement disposant d'une puissance de calcul élevée mais accessibles seulement à des spécialistes, ou la mise à la disposition de nombreux thématiciens de petits calculateurs.

En fait ces deux choix ne sont pas exclusifs l'un de l'autre ; au contraire ils se complètent. Les centres de traitement peuvent mettre en œuvre des logiciels lourds, relativement polyvalents (corrections géométriques, améliorations d'image, classifications non supervisées) et traiter une masse importante de données relatives à des régions très vastes. Au contraire, les thématiciens ont la possibilité d'effectuer sur de petites zones et à l'aide de systèmes interactifs, des traitements simples, plus spécifiques, et d'initialiser éventuellement des traitements plus complexes (classifications supervisées) exigeant la puissance de calcul des centres de traitement. La télématique permet de connecter ces deux types d'unités de traitement.

Enfin, la maîtrise de l'outil télédétection spatiale passe par une bonne connaissance de ses *limites*. Celles-ci sont en relation avec :

- les phénomènes physiques : la télédétection spatiale ne prend en compte que le rayonnement électromagnétique et ce dans une région du spectre allant du domaine du visible à celui des micro-ondes ;
- la nature des phénomènes observés : ceux-ci doivent pouvoir être reliés plus ou moins directement aux mesures physiques qui sont effectuées ;
- les conditions météorologiques : à l'exception des radars, les capteurs utilisés ne recueillent des informations sur la surface terrestre qu'en l'absence de couvert nuageux. Même dans ce cas l'atmosphère joue un rôle perturbateur qu'il importe de bien connaître, qu'il s'agisse d'étudier l'atmosphère elle-même ou d'enregistrer des données sur la surface terrestre ;
- le pouvoir de résolution du système d'acquisition ;
- la sensibilité des capteurs : nombre de bandes spectrales, résolution spectrale, résolution radiométrique.

Actuellement, on tente de repousser ces limites à la fois par une meilleure connaissance des relations entre rayonnement électromagnétique, objets observés et atmosphère, et par la mise au point de systèmes d'acquisition plus performants, possédant un meilleur pouvoir de résolution, opérant dans les meilleures bandes spectrales, donnant la possibilité d'une observation stéréoscopique.

### 3.2. Utilisation de la télédétection spatiale

Les données recueillies par les satellites de télédétection sont utilisables dans de nombreux domaines. Un inventaire complet des applications possibles de la télédétection spatiale serait très long, aussi nous contenterons-nous de mentionner à titre d'exemple certaines d'entre elles qui ont dépassé le stade de l'expérimentation. Les premières applications furent météorologiques avec l'exploitation des données collectées par les satellites TIROS lancés à partir de 1960.

Les satellites météorologiques permettent de mieux connaître les phénomènes atmosphériques mais aussi dans une certaine mesure de prévoir le temps qu'il fera. Ainsi, les populations peuvent être alertées à l'approche d'un cyclone ou les agriculteurs prévenus de l'arrivée d'une vague de froid. Ces satellites sont susceptibles d'être utilisés dans d'autres domaines que celui de la météorologie : par exemple, la détection des fronts thermiques à la surface des océans permettant d'orienter les pêcheurs vers des zones où le poisson devrait être plus abondant. Leur pouvoir de résolution est cependant faible, et en matière de ressources terrestres ce sont surtout les données recueillies par les satellites de la série Landsat, décrits dans le chapitre suivant, qui ont été jusqu'alors utilisés.

Les plus gros consommateurs d'informations sont cependant les géologues. En effet, la télédétection spatiale est parfaitement adaptée à la reconnaissance de phénomènes régionaux (linéaments, structures circulaires) du fait du caractère synoptique des images prises par les satellites, phénomènes qui sont souvent révélés par la végétation ou les caractéristiques du milieu hydrographique dans certaines conditions climatiques (d'où l'intérêt de pouvoir disposer d'images enregistrées à différentes époques de l'année). Mais l'enjeu économique que représente la recherche minière et pétrolière et le degré de familiarisation des géologues avec les techniques de télédétection (ils utilisent depuis longtemps les photographies aériennes) ne sont pas étrangers à cette situation.

Dans les autres domaines (agriculture, hydrologie, étude de la végétation, aménagement du territoire...) les applications de la télédétection spatiale sont nombreuses mais les renseignements qu'elle fournit sont loin d'être exploités de façon systématique.

On peut citer à titre d'exemple :

- en agriculture, l'inventaire des zones cultivées, les prévisions de récolte, le suivi de l'état sanitaire des cultures, l'évaluation des potentialités agricoles de grandes régions ;

- pour l'étude de la végétation, l'inventaire des grandes formations végétales, la reconnaissance des grands groupes d'essences forestières, l'aide à la gestion des pâturages sahéliens, le suivi des zones brûlées ou des coupes forestières ;
- en hydrologie, l'étude des surfaces en eau, des zones inondées, des zones humides, de l'érosion ;
- pour l'aménagement du territoire, la sélection de sites pour la construction de barrages, la délimitation de tracés routiers.

Si les données collectées par les satellites ne sont utilisées aujourd'hui que de façon partielle dans ces domaines, cela tient surtout au fait que les informations qu'on peut en tirer sont globales et souvent insuffisantes en elles-mêmes. *La télédétection spatiale peut être considérée comme un outil complémentaire des sources de renseignements conventionnelles.* Elle doit être intégrée à de nouveaux systèmes d'information qui prennent en compte le caractère spécifique des données qu'elle recueille, sa place se situant en amont. Une investigation à trois niveaux : images satellite, photographies aériennes, relevés de terrain est un bon exemple de ce système.

C'est à cette condition que les satellites de télédétection contribueront pleinement à une meilleure connaissance et à une meilleure gestion des ressources terrestres, qu'il s'agisse d'étudier des régions encore mal connues (océans, zones désertiques, pays en voie de développement) — études pour lesquelles le recours à des sources de renseignements traditionnelles engendrerait des coûts prohibitifs — ou qu'il s'agisse de surveiller les richesses naturelles afin d'en assurer une exploitation optimale.

## 4. ANNEXE

On trouvera ci-dessous une brève description des principales caractéristiques des satellites d'observation de la terre dont les données sont actuellement utilisées.

### 4.1. Satellites météorologiques et océanographiques

a) Sept satellites NOAA/TIROS se sont succédé depuis 1970. Leur orbite est héliosynchrone, quasi polaire, et distante de 870 kilomètres de la surface de la terre.

Ils comprennent des bandes dans le visible, une bande dans le proche infrarouge et des bandes dans l'infrarouge thermique ; la résolution au sol est de 1000 mètres.

Les informations sont diffusées toutes les douze heures ; elles sont utilisées non seulement en météorologie mais aussi en océanographie, pour l'étude de l'état de la végétation, des poussières atmosphériques, des couvertures neigeuses...

Un huitième satellite de la série a été lancé en 1981. Il porte des équipements plus nombreux et plus précis que les précédents ; la série est destinée à être poursuivie par des satellites encore plus perfectionnés.

b) Les satellites Météosat et GOES sont géostationnaires et gravitent sur une orbite équatoriale à 36 000 kilomètres de la surface de la terre. Le satellite Météosat, positionné au-dessus du golfe de Guinée, enregistre dans le visible et dans le proche infrarouge avec une résolution de 2 500 mètres et enregistre dans deux bandes infrarouge (« vapeur d'eau » et infrarouge thermique) avec une résolution de 5 000 mètres. Les informations sont délivrées toutes les trente minutes.

Les données sont utiles pour la météorologie, l'océanographie, l'aide à la pêche (par la mise en évidence des fronts thermiques maritimes), la description de la végétation dans les zones tropicales et équatoriales.

c) Le satellite Seasat n'a fonctionné qu'une centaine de jours en 1978. Il a enregistré dans une bande infrarouge thermique avec une résolution de 5 kilomètres et dans cinq bandes en hyperfréquences avec des résolutions allant de 20 à 160 kilomètres. Seasat avait une vocation spécifiquement océanographique consistant en la mesure par tous les temps des paramètres décrivant la surface de la mer : hauteur et longueur d'onde des vagues, température de l'eau en surface, variations du niveau (marées), courants, pollutions, glaces...

d) Le satellite HCMM, *Heat Capacity Mapping Mission*, a fonctionné de 1978 à 1980. Il a enregistré dans le visible et le proche infrarouge d'une part, dans l'infrarouge thermique d'autre part, avec une résolution de 500 mètres. La répétitivité des passages (variant de un jour et demi à trois jours et demi) a permis des enregistrements de nuit en infrarouge thermique. Ses informations concernent la température du sol et des eaux de surface ainsi que l'humidité des sols et sont applicables entre autres à la recherche géothermique et à l'étude des surfaces couvertes de neige et de glace.

e) La série des satellites Nimbus a été complétée en 1978 par Nimbus 7, conçu pour observer la mer et l'atmosphère avec des résolutions variables, 800 mètres pour l'observation de la couleur des océans (sédiments et chlorophylle), 20 à 100 kilomètres pour la mesure de la température de l'eau en surface, de la teneur de l'atmosphère en vapeur d'eau et en eau liquide, pour l'étude de la répartition des glaces. Il fournit également des indications sur l'interface terre-mer et la pollution atmosphérique.

## 4.2. Satellites des ressources terrestres

a) Le satellite Skylab (1973) était un satellite habité. Sa résolution allait de 40 à 80 mètres et il opérait dans le visible, dans le proche infrarouge et dans les hyper-fréquences. Ses données sont peu nombreuses et relativement peu exploitées. Elles sont utilisées pour l'étude des surfaces maritimes, de l'occupation des surfaces terrestres et de la végétation.

b) Les satellites Landsat, au nombre de quatre, se sont succédé depuis 1972. Ils transmettent des données sur l'environnement terrestre et gravitent à 920 kilomètres de la surface de la terre sur orbite héliosynchrone inclinée de 9° sur l'axe des pôles, avec une répétitivité de passage de 18 jours. Ils fournissent des données dans quatre bandes du visible et infrarouge proche.

Les données Landsat, bénéficiant d'une bonne résolution (80 mètres), nombreuses et aisées à obtenir, sont abondamment utilisées pour l'inventaire des ressources terrestres, la recherche fondamentale dans de nombreuses disciplines, la cartographie (1).

c) Le satellite SPOT, qui sera lancé en 1985, est comme Landsat conçu pour l'étude des ressources terrestres. Il aura une orbite héliosynchrone polaire, située à 832 kilomètres de la surface de la terre, donnant une répétitivité de passage de 26 jours. Sa résolution variera de 10 à 30 mètres et il enregistrera en stéréoscopie. Les *simulations* d'enregistrement SPOT (par radiomètre embarqué sur un avion et fonctionnant dans des conditions proches du fonctionnement opérationnel) ont fourni des produits de haute qualité dont l'exploitation paraît très prometteuse pour l'étude des ressources terrestres aux échelles moyennes.

d) Spacelab, satellite habité, a été lancé en 1983 pour une mission de sept jours, sur une orbite inclinée à 57° à 250 kilomètres de la surface de la terre ; il était notamment équipé d'une caméra permettant une résolution de moins de 20 mètres. Les données sont destinées à la mise à jour des cartographies existantes.

## 4.3. Les données radar

Les données radar ne sont pas toutes des données spatiales : la plupart des enregistrements exploités actuellement sont issus de capteurs aéroportés. Mais le développement des enregistrements radar effectués par capteurs spatiaux et leur intérêt justifient que quelques lignes soient consacrées à ces systèmes. Nous ne parlerons ici que des radars utilisés pour l'étude des ressources terrestres et l'océanographie.

Contrairement à la plupart des capteurs de télédétection (chambre photographique, capteurs Landsat ou Spot) appelés *passifs* parce qu'ils enregistrent l'énergie du soleil après réflexion sur la surface terrestre ou l'énergie émise par la Terre, les radars (2) sont des systèmes *actifs*, fonctionnant simultanément comme émetteurs et récepteurs : dans la phase *émission*, le radar envoie latéralement un rayonnement en direction de la surface terrestre ; dans la phase *réception*, il enregistre l'écho retour, c'est-à-dire la portion de rayonnement incident qui lui parvient.

Les ondes électromagnétiques utilisées par les radars sont beaucoup plus longues que celles allant du visible à l'infrarouge. Appelées micro-ondes ou hyper-fréquences, elles sont comprises entre 7,5 millimètres et un mètre de longueur. Les bandes les plus souvent utilisées sont la bande X (3 centimètres environ), la bande C (6 centimètres environ), la bande L (25 centimètres environ). Le radar émet un faisceau d'ondes pulsées de 2 000 pulsations par seconde environ, de nature cohérente (type laser). Ces très grandes longueurs d'onde traversent les formations nuageuses sans modifications gênantes, ce qui permet des enregistrements interprétables de la surface de la Terre par tous les temps ; par contre, la nature cohérente du rayonnement provoque un phénomène d'interférences multiples aléatoires après réflexion sur une surface, appelé *speckle* (scintillement) qui donne un aspect pointillé aux images, gênant pour l'interprétation.

On définit deux types de radars : le radar latéral à ouverture réelle (SAR : Side Looking Airport Radar) et le radar d'ouverture synthétique.

(1) Voir chapitre LES DONNÉES LANDSAT.

(2) *Radio Detection and Ranging* : détection et localisation par ondes radio.

Les données radar sont enregistrées numériquement ou analogiquement :

- données numériques : le calcul du temps de réponse et du décalage Doppler permet de localiser la cible et l'intensité du signal de l'identifier. Elles sont prétraitées informatiquement (atténuation du speckle, redressement géométrique) et visualisées sur film photographique ; ces prétraitements sont longs et onéreux ;
- données analogiques : on enregistre sur film photographique les franges d'interférence entre une onde de référence et l'onde réfléchi par les objets ; l'hologramme obtenu donne l'image sur film de la surface terrestre.

Le signal radar est sensible à de nombreux paramètres dont il faut tenir compte dans le choix du type de radar selon la destination des enregistrements, et dans l'interprétation des données :

- la rugosité de surface, qui se définit en fonction de la longueur d'onde incidente ;
- la teneur en eau libre des corps : plus un milieu est humide plus son signal est fort ; ;
- la fréquence de l'onde radar : un même objet, enregistré dans des fréquences différentes, donne des signaux différents ;
- la polarisation : quatre configurations sont possibles, qui ne donnent pas la même qualité de résultats interprétables selon les types d'objets recherchés ; dans la polarisation HH, le faisceau *incident* est polarisé horizontalement et on mesure la composante horizontale du faisceau *réfléchi* ; en HV, le faisceau incident est polarisé horizontalement et on mesure la composante *verticale* du faisceau *réfléchi* ; les deux autres configurations sont VV et VH ; pour la discrimination des types de cultures, par exemple, il s'avère que la polarisation VV est la meilleure.

Des modèles de comportement des surfaces et des volumes vis-à-vis des hyperfréquences sont étudiés à partir d'expériences au sol dans de nombreux laboratoires ; s'ils sont fort utiles pour mieux comprendre les paramètres de variabilité du signal, le problème de l'interprétation se complique dès qu'il s'agit d'enregistrements aériens et spatiaux car tous les paramètres interviennent dans la nature et il est souvent difficile de savoir lequel est prédominant.

Les particularités physiques et les applications du signal radar sont très spécifiques et fort utiles à certaines analyses de la surface de la Terre :

- l'indépendance vis-à-vis des conditions atmosphériques permet des enregistrements partout par tout temps, notamment sur les régions équatoriales, ennuagées en permanence ;
- la morphologie de la surface de la Terre est mise en évidence de façon prépondérante : les structures linéaires notamment (contacts géologiques, lignes de failles) y sont très visibles ;
- la sensibilité à la teneur en eau et la pénétration des ondes en milieu sec permettent des analyses différenciées des sols, des roches, des milieux englacés et enneigés.

En ce qui concerne la pénétration de la végétation par les ondes radar, les résultats sont encore incertains et difficiles à interpréter.

De nombreuses missions radar ont été réalisées pour l'observation de la Terre : citons l'opération *aéroportée* RADAM couvrant le bassin amazonien (Brésil, Venezuela, Pérou et Colombie) effectuée entre 1971 et 1976 ; le Gabon a été couvert en 1981.

Trois importantes missions spatiales d'observation de la Terre ont été ou vont être réalisées :

- Seasat a fourni en 1978 de très bonnes données en bande L sur l'Amérique du Nord et l'Europe de l'Ouest. SIR A (installé sur la navette spatiale Columbia) a enregistré en 1981 de nombreuses *traces* de 50 kilomètres de largeur tout autour du globe ; SIR B, prévu pour août 1984, doit fournir des données sous des incidences et dans des bandes spectrales différentes.

Les données radar de télédétection, actuellement largement exploitées par les géologues et les glaciologues, demeurent fort peu utilisées dans d'autres domaines tels que l'agriculture et la foresterie. Les résultats expérimentaux semblent cependant prometteurs, surtout si les données radar sont utilisées en association avec les données des capteurs multispectraux tels que Landsat et Spot.

#### 4.4. Organismes d'information et de diffusion

Les données des satellites cités ci-dessus sont diffusées par divers organismes :

**NOAA/TIROS, SEASAT, NIMBUS :**

National Oceanic and Atmospheric Administration  
Environmental Data and Information Service  
National Climatic Center  
Satellite Data Division  
Room 606, World Weather Building  
WASHINGTON DC 20233 Etats-Unis  
Tél. : (301) 763 8111.

**SEASAT, NIMBUS, HCMM, LANDSAT :**

G.D.T.A.  
18, avenue Edouard Belin  
31055 TOULOUSE CEDEX France

**LANDSAT :**

Eros Data Center  
Sioux-Falls  
SOUTH DAKOTA 57198 Etats-Unis

**METEOSAT :**

Meteosat Data Management Department  
ESOC  
Robert Bosch Strasse 5  
D. 6100 - DARMSTADT  
République Fédérale Allemande  
Tél. : 06151/8861 ext. 601.  
Telex : 419 453

et

C.M.S. Lannion  
22301 LANNION France

**Informations SPOT :**

SPOT Image  
18, avenue Edouard Belin  
31055 TOULOUSE CEDEX France



## FICHE TECHNIQUE

### UNE IMAGE MÉTÉOSAT

#### PRÉSENTATION :

Image du satellite Météosat 1, canal visible, vue prise le 6 mars 1978 à 12 heures 30 Temps Universel et transmise par la Météorologie Nationale Française, station de réception de Lannion (France).

Le territoire représenté est l'hémisphère terrestre approximativement centré sur l'intersection du méridien zéro et de l'équateur.

Echelle approximative au centre de l'image : 1/65 000 000 (1 cm = 650 km).

#### EXAMEN ET INTERPRÉTATION :

De façon générale, les eaux apparaissent en noir sur l'image, les terres émergées en divers dégradés de gris, les nuages en blanc.

On reconnaît distinctement, au centre de l'image, les contours du nord de l'Afrique (cap Vert, cap Blanc, le détroit de Gibraltar, les côtes tunisienne et libyenne, la mer Rouge et la côte somalienne). Le Sahara, dépourvu de toute couverture nuageuse, est bien visible : les aires rocheuses et montagneuses apparaissent plus sombres sur le fond clair des sables. A droite, la sinueuse vallée du Nil, à gauche, les reliefs mauritaniens (Adrar, falaise de Tichitt).

A la limite des formations nuageuses méridionales et de la zone de végétation abondante (en sombre), on distingue le lac Tchad.

Une couverture nuageuse dense marque la côte du golfe de Guinée et les terres soumises, en cette période de l'année, à la saison des pluies.

La moitié sud de l'Afrique est couverte d'un mouchetis de nuages qui souligne les contours du continent sauf au-dessus des déserts de Namibie et Kalahari.

L'Arabie est bien distincte ainsi que la côte orientale de la Méditerranée. L'Europe est sous les nuages sauf l'Europe occidentale (Espagne, France et sud de la Grande-Bretagne) d'ailleurs peu contrastée par rapport à l'océan Atlantique.

Le continent sud-américain n'est guère visible car déformé par la perspective et couvert de nuages. Seule l'échancrure du Rio de la Plata et les côtes voisines sont visibles.

Les ensembles nuageux se différencient bien les uns des autres. On remarque notamment la masse compacte centrée sur la côte africaine du golfe de Guinée qui reçoit à la période de prise de vue (mois de mars) les pluies de la saison humide intermédiaire. On remarque aussi l'organisation tourbillonnaire des nuages sur les hautes latitudes australes et boréales.

#### UTILISATION :

Les données fournies par Météosat permettent l'observation de la couverture nuageuse et de son évolution (rappelons que Météosat envoie des informations toutes les trente minutes).

Les informations recueillies dans le canal *visible* (reproduit ici) et dans le canal *infrarouge thermique* (non reproduit ici) permettent la prévision du temps par les services météorologiques, l'étude des déplacements des masses d'air et des courants marins, les mesures de températures au sommet des nuages et à la surface de la mer. Les applications sont nombreuses, aussi bien dans des cadres météorologiques et de recherche fondamentale en climatologie et océanographie que dans des domaines plus proches des préoccupations économiques comme l'aide à la pêche.

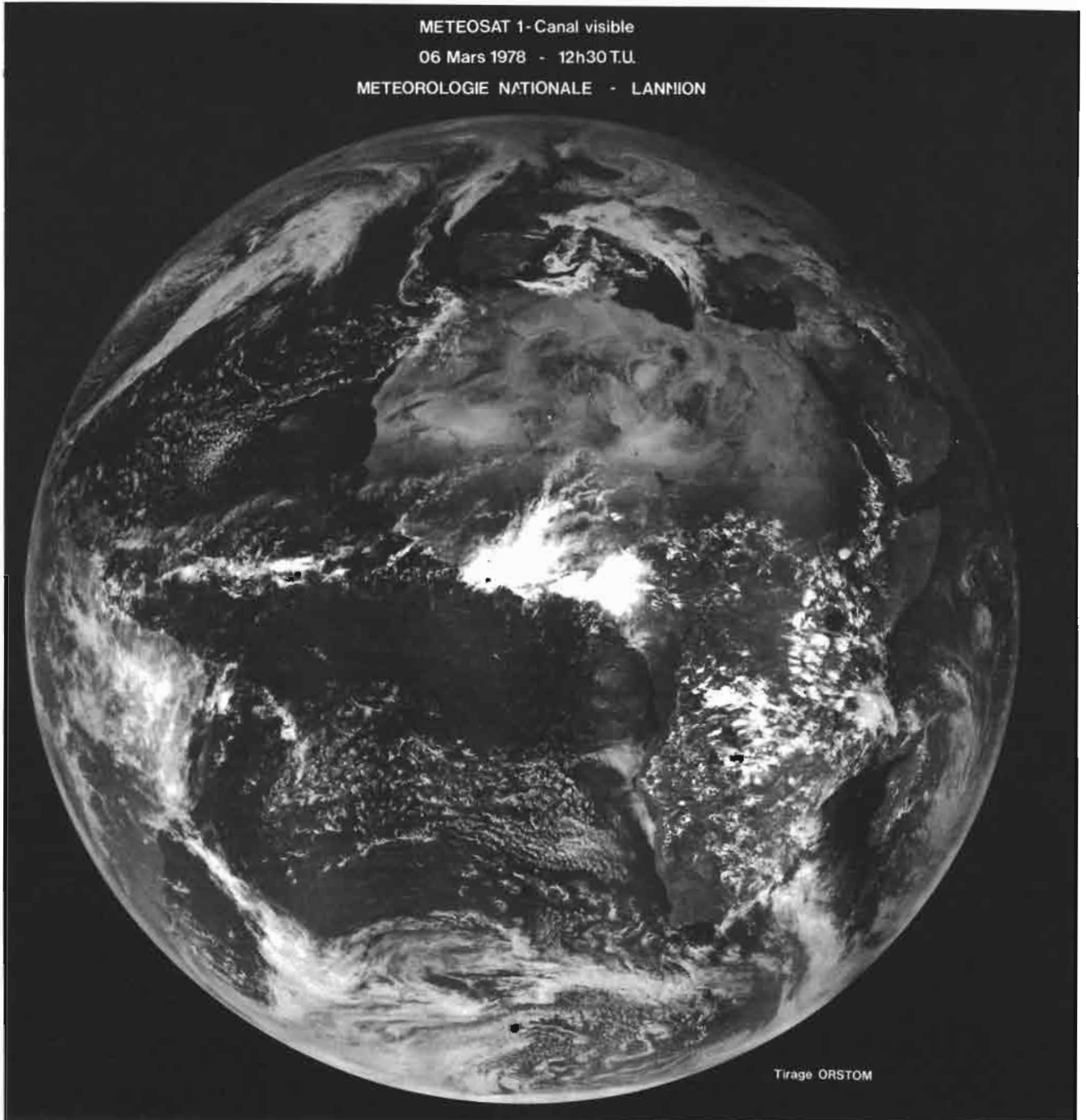
#### DISPONIBILITÉ :

Voir page 51, les centres de diffusion des images Météosat.

L'image présentée ici et les images des canaux « vapeur d'eau » et « infrarouge thermique » prises en même temps ont été publiées, accompagnées d'un bref commentaire, par :

Orstom  
Services Scientifiques Centraux  
70-74 route d'Aulnay  
93140 BONDY (FRANCE)

METEOSAT 1 - Canal visible  
06 Mars 1978 - 12h30 T.U.  
METEOROLOGIE NATIONALE - LANMION



Tirage ORSTOM



## Chapitre 3

# Les données Landsat

Les quatre satellites d'observation de la terre Landsat, fabriqués et lancés par les Etats-Unis, ont depuis 1972 fourni sur les surfaces continentales de la terre des vues nombreuses, détaillées et facilement accessibles à peu de frais. La nouveauté, la qualité et la facilité d'accès des données Landsat ont suscité l'intérêt de tous les pays et des organismes soucieux d'établir ou de compléter aisément les informations sur l'état des ressources et des potentialités de la surface de la terre, afin d'en tirer d'utiles indications sur leur gestion rationnelle.

Cependant, l'énorme quantité d'informations transmises et disponibles est très difficile à exploiter : dix ans après le lancement du premier satellite Landsat, l'utilisation des données n'est encore ni systématique, ni généralisée, ni aisée, sauf rares exceptions.

Landsat 1 (autrefois dénommé ERTS 1) a été lancé en juillet 1972 et a cessé de fonctionner en 1977. Landsat 2 a été lancé en janvier 1975 ; il n'a pas été utilisé pendant l'année 1979. Landsat 3 a été lancé en mars 1978. Landsat 4 a été lancé en juillet 1982 ; il est seul à fonctionner actuellement (1984).

Les quatre satellites présentent des caractéristiques voisines.

### a) Les caractéristiques des prises de vue

Les orbites sont circulaires à 920 km de la terre ; leur plan fait un axe de  $9^\circ$  avec l'axe des pôles. L'orbite est héliosynchrone : chaque région est toujours observée à la même heure locale (à l'équateur : 9 h 42). L'orbite est parcourue en 103 minutes, chaque passage étant décalé par rapport au précédent et la même région est théoriquement observée dans les mêmes conditions de survol tous les 18 jours par le même satellite. Deux satellites en service en même temps permettent théoriquement l'observation de la même région tous les 9 jours.

Chaque satellite est équipé d'un *radiomètre multispectral à balayage* (en anglais *Multispectral Scanner*, abrégé en M.S.S.). Ce radiomètre enregistre séparément dans quatre gammes de longueurs d'onde, chaque gamme correspondant à un *canal*. Le radiomètre est composé d'un système optique de réception et de décomposition de la lumière en quatre canaux et de *détecteurs* (6 pour chaque canal) qui transforment l'énergie lumineuse reçue en énergie électrique. Cette énergie électrique est transmise par radio aux stations de réception situées sur la terre.

Les satellites Landsat sont également équipés de *caméras vidéo* (en anglais *Return Beam Vidicon*, abrégé en R.B.V.) ; le système RBV n'a jamais fonctionné sauf sur Landsat 3 pour lequel il est peu utilisé et seulement sur les territoires à réception instantanée.

Chaque satellite est équipé d'une *mémoire* qui permet de conserver les données enregistrées pendant que le satellite ne survole aucune station de réception au sol et de restituer ces données dès que le satellite survole l'aire de réception d'une station. La capacité de ces mémoires est limitée, ce qui explique que de nombreux survols, hors des zones d'écoute des stations de réception, ne soient pas restitués.

## b) Les caractéristiques des produits

Les observations des satellites Landsat sont restituées de la même façon : leurs produits sont donc interchangeables et comparables. A partir de 1982, le nouveau satellite Landsat 4, d'une meilleure finesse, augmente la définition des produits, donc leur précision et leur lisibilité.

Le programme Landsat est un programme *expérimental* : ceci explique que les produits soient très bon marché. L'utilisateur ne paie ni les frais de fabrication et de lancement des satellites, ni les frais de construction et de fonctionnement des stations réceptrices, ni ceux de conservation et d'archivage des produits. Cette situation est d'ailleurs en pleine évolution avec la perspective de satellites opérationnels.

Les produits se présentent sous deux formes, absolument différentes :

- sur support photochimique,
- sur bande magnétique.

Dans chacun de ces cas, on parle *d'image* et non pas de photographie.

## 1. SAISIE DE L'INFORMATION

La saisie de l'information est fonction de trois facteurs essentiels : les caractéristiques techniques, la qualité et les conditions de fonctionnement du radiomètre ; la position géographique du satellite par rapport aux stations de réception au sol ; l'état de l'atmosphère au moment du passage du satellite.

### 1.1. Le radiomètre

Le radiomètre à balayage MSS enregistre la lumière réfléchie par la surface de la terre et par l'atmosphère terrestre dans quatre gammes de longueurs d'onde (1). Ces gammes de longueurs d'onde sont désignées par le numéro du canal ou par la couleur approximativement correspondante dans le spectre de la lumière :

- 0,5 à 0,6 micromètre, canal 4, vert
- 0,6 à 0,7 micromètre, canal 5, rouge
- 0,7 à 0,8 micromètre, canal 6, infrarouge 1 (ou IR 1)
- 0,8 à 1,1 micromètre, canal 7, infrarouge 2 (ou IR 2)

Les canaux 6 et 7 correspondent à des longueurs d'onde de la lumière non visibles par l'œil humain. La bonne qualité de l'enregistrement dépend :

- de l'équilibrage du satellite pour éviter tangage et roulis et permettre aux capteurs de se trouver régulièrement face à la surface de la terre,
- du bon fonctionnement du radiomètre et des capteurs : il arrive fréquemment qu'un ou plusieurs capteurs présentent temporairement des défauts de fonctionnement ; l'image est alors rayée et peu utilisable.

### 1.2. Les stations de réception

Théoriquement, les données enregistrées par le radiomètre sont transmises immédiatement aux stations de réception au sol. Pour cela, il est indispensable que le satellite se trouve dans la « zone de visibilité » radio de l'une de ces stations (2 000 à 2 500 km de rayon). Or, les stations ne sont pas assez nombreuses pour que la totalité du globe terrestre soit couverte, il s'en faut de beaucoup.

Actuellement (1984), les stations de réception sont au nombre de treize : trois aux Etats-Unis, deux au Canada, une au Brésil, une en Argentine, deux en Europe (Italie et Suède), une en Inde, une au Japon, une en Australie et une en Afrique du Sud. Leurs zones de visibilité couvrent l'Amérique du Nord et l'Arctique, une grande partie de l'Amérique du Sud, l'Europe, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord.

(1) 7 gammes dans le *Thematic Mapper* de Landsat 4.

Pour que les observations effectuées sur les autres parties du monde soient transmises au sol, il est nécessaire de les mettre en mémoire pendant le temps nécessaire à l'arrivée du satellite dans l'une des zones de visibilité. Ceci limite considérablement la réception des données pour deux raisons principales :

- les mémoires des quatre satellites n'ont jamais fonctionné qu'à capacité réduite ;
- c'est la NASA, maître d'œuvre du programme Landsat, qui maîtrise le programme de mise en mémoire selon ses objectifs ou les demandes *préalables* qui lui sont présentées.

En conséquence, et en attendant que d'autres stations de réception soient mises en service en Asie et en Afrique, les régions du monde telles que le Sud-Est asiatique, le continent africain, les aires insulaires océaniques, l'Antarctique ne sont concernées que par très peu de transmissions d'images, bien qu'elles soient régulièrement survolées.

### 1.3. L'état de l'atmosphère

La brume et le brouillard, les nuages de vapeur d'eau et de poussière font évidemment obstacle à l'observation de la surface de la terre par le capteur ; cet obstacle est infranchissable par les radiomètres Landsat.

Tous ces obstacles à l'enregistrement et à la transmission des observations font que la *répétitivité réelle* est bien inférieure à la répétitivité théorique (qui est d'une image tous les dix-huit jours). Certaines régions, non couvertes par les zones de visibilité des stations de réception et affectées en quasi-permanence d'un couvert nuageux (c'est le cas des zones équatoriales et des zones insulaires) ne possèdent même aucune image...

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION

L'information recueillie par les satellites Landsat est publique, c'est-à-dire que les données recueillies sont à la disposition de tout acheteur. A l'heure actuelle, les organismes gestionnaires des stations de réception Landsat diffusent auprès des utilisateurs les documents correspondant à leur zone d'écoute. Les données sur les USA et les données enregistrées par les mémoires de bord sont diffusées par Eros Data Center.

Ces organismes mettent à la disposition de l'utilisateur plusieurs types de restitution des données enregistrées, sous forme numérique (bandes magnétiques) et sous forme photochimique.

Notons qu'avant toute restitution destinée à l'utilisateur, les « données brutes » transmises par le satellite subissent des transformations visant à en améliorer la qualité : corrections géométriques et calibrations radiométriques entre autres.

### 2.1. Les données numériques

Les données numériques constituent l'*original* de l'information. Elles sont présentées sur bande magnétique et destinées à être lues par un ordinateur. Celui-ci transmet l'information au moyen d'écrans de visualisation, d'imprimantes, de tables traçantes. Chaque bande magnétique porte la totalité des informations relatives à une *vue* dans les quatre canaux.

La restitution numérique permet une lecture très détaillée des informations au *pixel*\* près, des changements d'échelle, des mesures, des combinaisons et croisements d'informations entre les quatre canaux. Mais elle exige un équipement relativement coûteux en ce qui concerne l'achat et la maintenance, et la présence de techniciens qualifiés.

### 2.2. Les données photochimiques

Les données photochimiques (ou *pseudo-photographies*) sont la *traduction* des données numériques en divers tons de gris, présentée sur un support photo-sensible.

Elles sont principalement diffusées sous forme de négatifs présentant séparément les données de chaque canal à l'échelle 1/1 000 000. Généralement, ces données sont traitées par l'utilisateur lui-même, selon ses besoins ; agrandissements, compositions colorées, etc.

L'utilisation des données photochimiques n'exige que la disposition d'un atelier photographique ordinaire, ses produits sont facilement transportables, assemblables en mosaïques, peu onéreux. Les

images ainsi traitées sont analysées selon des méthodes voisines de l'interprétation des photographies aériennes ; mais il faut savoir que les images photochimiques ne sont que la *visualisation* dégradée et incomplète de l'information numérique initiale.

Les centres de traitement peuvent aussi fournir, à la demande, des produits plus élaborés (et plus coûteux) : images améliorées produites à des échelles plus grandes (1/100 000, 1/50 000), traitements en classification (supervisée ou non), traitements spéciaux, analyses multidates, etc.

Des catalogues des vues disponibles sont publiés. Ils contiennent *scène\** par scène (repérables sur des cartes du monde) les dates des prises de vue satisfaisantes, leur qualité canal par canal, le pourcentage de nuages, le numéro d'identification de la scène. Chaque scène couvre un territoire de 185 x 185 km.

### 3. MAITRISE ET UTILISATION DES DONNÉES LANDSAT

#### 3.1. Maîtrise de l'information

L'information contenue dans un document Landsat (qu'il soit numérique ou photochimique) se présente de façon spécifique pour plusieurs raisons liées aux caractéristiques techniques d'enregistrement de l'image et aux conditions de la prise de vue spatiale.

La *définition* de l'image (l'élément le plus petit constituant l'image) correspond à un *pixel\**, soit un rectangle au sol de 79 x 56 mètres : les objets plus petits que ces dimensions apparaissent mal ; la plupart des *objets* (arbres, édifices, rochers, etc.) ne sont donc pas identifiés clairement. Ce sont des *ensembles d'objets* que présente l'image Landsat ; ces ensembles peuvent être uniformes (une forêt de résineux) ou composés (une forêt de résineux mêlés à des feuillus et à des espaces de terrain nu...). Dans ce cas, la figuration du territoire concerné varie considérablement selon la proportion en surface de chacun des éléments composants et selon l'état de chacun de ces éléments.

La présence de l'écran atmosphérique d'une part, la restitution en quatre canaux séparés d'autre part (rappelons que deux d'entre eux correspondent à des longueurs d'onde de la lumière non visibles par l'œil humain), donnent de la surface de la terre une image jusqu'ici peu familière, assez différente en tout cas de celle à laquelle les photographies aériennes nous ont habitués.

Selon les conditions locales et saisonnières, un même ensemble d'objets peut prendre, sur des vues différentes, des aspects différents ; c'est le cas notamment de la végétation active ou en repos.

L'interprétation des données Landsat est donc délicate et leur exploitation générale reste soumise à un niveau de compétence et surtout d'expérience encore peu répandu.

Comme le spectacle de la terre évolue rapidement selon les rythmes climatiques et végétaux, éventuellement selon les interventions humaines, comme l'enregistrement de ce spectacle varie selon les conditions atmosphériques au moment de la prise de vue, l'interprétation n'est ni simple, ni systématique, ni définitive. Une intervention détaillée et approfondie exige impérativement une bonne connaissance préalable du terrain et de ses dynamiques.

Une partie de cette connaissance peut être acquise grâce aux photographies aériennes, cartes, rapports et documents existants. Ces documents sont susceptibles de fournir la base d'une information sur les grands traits de la région dont les données Landsat fournissent l'extension et les limites. Pour les études fines ou pour les territoires sur lesquels n'existent que peu ou pas d'informations, les études de terrain sont pratiquées au moyen de mesures radiométriques au sol, d'observations détaillées sur des sites test, d'enquêtes sur l'état du terrain au moment précis de la prise de vue, etc.

Dans tous les cas, il convient de prendre beaucoup de précautions en ce qui concerne l'interprétation de chaque information fournie par une image Landsat. Citons un exemple : dans la région de Nancy (nord-est de la France) une vue prise au printemps figure le même ensemble d'objets (des champs de blé en cours de croissance) de façon très différente dans le haut de l'image (au nord du territoire étudié) et dans le bas de l'image (au sud du territoire étudié) car il existe entre les deux un décalage climatique notable, donc dans le degré de maturité du blé. Le thème « champs de blé » doit donc être recherché à travers ses variations de figuration sur une même image. On notera au passage que cela exclut l'interprétation systématique généralisée par ordinateur sans intervention raisonnée de l'interprète.

Les données numériques et les données photochimiques ne sont pas utilisables selon les mêmes modalités : alors que les données photochimiques peuvent être aisément utilisées — avec les réserves citées plus haut en ce qui concerne les nuances d'interprétation — à peu près de la même façon que des photographies aériennes, les données numériques ne sont pas déchiffrables directement ; l'abondance et le détail de l'information qu'elles contiennent en rendent l'interprétation plus délicate

et plus spécialisée. Actuellement, le coût des appareillages nécessaires en réserve souvent l'usage à des opérations « rentables », à des programmes expérimentaux ou à des recherches de pointe.

Les informations contenues dans les images Landsat ne peuvent donc guère être utilisées directement, sans précautions ni formation spécifique. Actuellement, cette formation est encore empirique (ce qui n'empêche pas qu'elle soit efficace) ou spécialisée ; elle ne touche qu'un petit nombre d'utilisateurs ou de futurs interprètes, ce qui explique que les données Landsat ne soient pas utilisées à la mesure de leur abondance et de la quantité d'informations qu'elles contiennent. Il est donc nécessaire que soient développées les actions d'information et de formation auprès des utilisateurs potentiels.

### 3.2. L'utilisation des données Landsat

Une fois franchi l'obstacle de l'interprétation, Landsat fournit des informations fondamentales dans tous les domaines cités dans les chapitres *Les satellites d'observation de la terre* et *Photographies aériennes* (voir tableau p. 38), en vue d'objectifs très variés.

En recherche fondamentale et appliquée, les données des satellites Landsat ont mis en évidence des phénomènes jusqu'ici peu étudiés en raison de leur vaste extension géographique (linéaments géologiques, contacts, fractures, zones de broyage...). Elles permettent d'étudier l'extension géographique de phénomènes couvrant de vastes étendues (terres en culture, forêts, aires non cultivées), la juxtaposition et l'organisation de phénomènes multiples, connexes... Ces études n'étaient pas couramment envisagées, dans le monde tropical notamment, avant l'apparition des données Landsat car l'information nécessaire était longue, coûteuse et difficile à obtenir et à harmoniser. Les vues Landsat permettent désormais d'obtenir, dans des délais et avec des frais compatibles avec les besoins et les ressources des Etats et organismes concernés, des informations à échelle petite et moyenne (1/1 000 000, 1/500 000) sur les aires globalement homogènes d'un territoire et des informations à échelle moyenne et grande (1/100 000, voire 1/50 000). Les cartes qui en résultent (interprétations morpho-pédologiques, morpho-végétales, cartes d'occupation du sol) sont des outils de premier plan pour le planificateur à niveau national et international et pour l'aménageur à niveau régional.

Les études dynamiques, qui suivent l'évolution et les conséquences de phénomènes temporaires, saisonniers ou exceptionnels, peuvent être envisagées grâce aux données Landsat dans la mesure où la répétitivité des vues disponibles le permet ; il est à noter que les phénomènes saisonniers liés à la saison des pluies (phénomènes agricoles, végétaux, hydrologiques) ne peuvent être aisément saisis à cause de la couverture nuageuse : la répétitivité réelle des vues disponibles n'est pas toujours concomitante avec les phénomènes à étudier.

Landsat est également un outil de premier ordre pour *mettre à jour* des informations obtenues antérieurement : extension des terres cultivées, dégradations forestières, modifications hydrographiques, etc.

Les données landsat sont aussi couramment utilisées pour effectuer des *cartographies préalables* quand il n'existe pas d'autres documents : ces cartes sont destinées à des interventions limitées ou constituent des documents provisoires, ultérieurement vérifiés et complétés par les moyens classiques.

La présentation des données Landsat sous leur forme numérique permet d'obtenir instantanément des mesures (dimensions, superficie, comptages, densités) après interprétation.

Enfin, notons que les *méthodes* et les *techniques* susceptibles de permettre l'utilisation rapide et efficace des données spatiales (Landsat et Spot) font l'objet d'une recherche fondamentale spécifique très active.

### 3.3. Données Landsat et photographies aériennes

Bien que les photographies aériennes et les traitements photochimiques des données Landsat apparaissent comme comparables ou voisins, les unes et les autres ne sont pas utilisables selon les mêmes termes. Le tableau ci-après compare les principales caractéristiques opérationnelles des produits issus des prises de vue aériennes et des prises de vue spatiales Landsat.



	Photographies aériennes	Landsat photochimique	Landsat numérique
Niveau optimal de territoire traité	local	international, national et régional	national et régional
Échelles de travail	1/100 000 à 1/5 000	1/1 000 000 à 1/100 000	1/100 000 à 1/50 000 environ
Ordre de grandeur des délais de mise à disposition des données de base	année	mois	mois
Mode d'acquisition des données de base	commande spécifique très coûteuse	achat très bon marché (1)	achat bon marché (1)
Gamme des thèmes susceptibles d'être étudiés	pratiquement illimitée dans les trois cas, sauf en hydrologie où Landsat est beaucoup plus intéressant		
Lecture directe	facile	peu aisée	impossible
Spécialisation de l'interprète	variable selon l'objectif de l'étude	assez élevée quel que soit l'objectif	très élevée
Coût de l'interprétation professionnelle	variable	variable	élevé, variable avec les thèmes
Matériel indispensable	nul	simple	complexe et coûteux
Stéreo-scopie	essentielle	impossible	impossible
Possibilités de mesures	indirectes	indirectes	directes

Le planificateur peut se trouver confronté à la nécessité d'un choix entre la commande d'une mission aérienne et l'achat de données Landsat. Les données Landsat peuvent raisonnablement être préférées quand les conditions suivantes se trouvent réunies en même temps :

- traitement de vastes surfaces de territoire (niveau régional, national et international) ;
- nécessité de mise à disposition des résultats dans un délai de quelques mois ;
- disponibilité d'un atelier spécialisé d'une part, budget réduit d'autre part ;
- échelles de restitution cartographique inférieures à 1/200 000.

En ce qui concerne les cartographies d'inventaire (« les facteurs de production »), les images Landsat ne remplacent pas une couverture aérienne spécifique, les deux se complètent mutuellement ; par contre, les images Landsat sont irremplaçables pour toutes les études évolutives, les dynamiques et les contraintes.

(1) Les prix d'achat des données Landsat ont augmenté de 150 % en octobre 1982.

W115-001 W114-301 W114-001  
11NOV76 C N34-33/W114-13 N N34-32/W114-09 MSS 7 D SUN EL30 AZ146 190-9189-G-1-N-P-1L NASA ERTS E-2659-17214-7 01

W115-001

N034-001

W114-30

W114-001

1005



W115-301 W115-001 W114-301 W114-001  
11NOV76 C N33-08/W114-38 N N33-06/W114-35 MSS 7 D SUN EL31 AZ145 190-9189-G-1-N-P-1L NASA ERTS E-2659-17220-7 01

W115-301

W115-001

N032-301

W114-30

1000

**Image photographique Landsat, tirage noir et blanc du canal 7, vue prise le 11 novembre 1976, scène 041-037.**

L'enregistrement présente la région située entre Mexicali (Mexique) et Yuma (États-Unis), sur la frontière de l'État de Californie.

Il s'agit d'une aire montagneuse aride, bordée de plaines (à gauche *Imperial Valley*), traversée de vallées étroites (Colorado au centre de l'image, Gila à droite).

Les vallées et les plaines basses sont occupées par une culture irriguée où deux types de parcelles sont distincts. Sur cette image en noir et blanc du canal 7, l'eau est bien visible en noir : lacs salés du Désert du Colorado, fleuve, canaux d'irrigation. On remarque l'extension des sables dénudés (en clair sur l'image) et même une écharpe de rides dunaires.

© Négatif USGS, tirage Orstom.

## FICHE TECHNIQUE

L'illustration présentée ici est une image enregistrée par le satellite Landsat 1, le 10 mars 1973, sur la région dont les coordonnées dans le système Landsat sont 219-052 et qui correspond à une scène centrée sur la Guinée Bissau, en Afrique Occidentale.

Cette image a fait l'objet d'une photo-interprétation destinée à donner des éléments d'information pour un programme expérimental agricole de la F.A.O. dans la région de Bissau.

### **UNE IMAGE EN COMPOSITION COLORÉE, 1/250 000 environ, Guinée Bissau, Institut Géographique National.**

#### **RÉALISATION DE L'IMAGE :**

Les données enregistrées par le satellite sont restituées sous forme photographique en *composition colorée améliorée*. Elles ont été corrigées radiométriquement (amélioration) pour accentuer les contrastes entre les différentes teintes et rendre les contacts moins flous.

La restitution en couleurs composées est effectuée à partir des enregistrements de trois des quatre canaux : le canal 4 (correspondant aux « bleu », « vert » et « jaune » de la lumière visible), le canal 5 (correspondant aux « jaune » et « rouge »), le canal 6 (correspondant à l'infrarouge proche 1). Habituellement, on choisit le canal 7 (infrarouge proche 2) plutôt que le canal 6 comme troisième composante, mais ici, l'enregistrement du canal 7 n'était pas d'une qualité suffisante pour qu'il soit pris en compte.

Chacun des enregistrements a été restitué en une seule couleur sur émulsion photochimique :

- canal 4 : bleu,
- canal 5 : vert,
- canal 6 : rouge.

Par superposition des trois couleurs, on obtient l'image ci-contre, dont les couleurs ne sont pas naturelles (d'où l'appellation « fausses couleurs ») mais cependant proches de celles des photographies aériennes prises en *infrarouge couleurs* sur lesquelles la végétation active apparaît en rouge vif et auxquelles les photo-interprètes sont habitués.

#### **ILLUSTRATION PRÉSENTÉE :**

La photographie reproduite est centrée sur la région de Bissau et l'estuaire des fleuves Geba-Corubal. A 1/250 000, la surface du rectangle représenté est de 3 900 km<sup>2</sup> (52 km x 75 km).

On y distingue très clairement trois grandes catégories de paysages :

- en bleu, les eaux ;
- en rouge, la végétation active dense, principalement la végétation naturelle ;
- en beige et blanc, les sols nus ou peu couverts, c'est-à-dire, compte tenu de la période de prise de vue (mois de mars), les espaces mis en culture ou destinés à être mis en culture ; les plages.

A l'intérieur de ces trois catégories, les nuances de couleurs peuvent être interprétées dans le détail, soit directement grâce à une connaissance générale des milieux semblables, soit après une étude attentive sur le terrain.

Le bleu foncé correspond aux eaux profondes et limpides du domaine maritime (eaux salées), les différentes teintes de bleu clair à des eaux peu profondes ou aux eaux fluviales chargées d'alluvions, sans que l'on puisse faire une distinction décisive entre les unes et les autres.

Les nuances rouge clair correspondent à la savane arborée, dans laquelle le couvert herbacé est au moins aussi important que le couvert arboré ; le rouge vif correspond à la forêt secondaire, haute et dense, dont les couronnes sont en pleine activité chlorophyllienne et très serrées les unes contre les autres. Le rouge très foncé correspond à la mangrove, forêt inondée des bordures fluvio-marines qui se développe dans les eaux saumâtres entre les lignes de marée haute et de marée basse.

Les nuances de beige, de jaune et de blanc correspondent à divers types de terrains peu couverts par la végétation : les plages (en blanc), les champs préparés pour la mise en culture : champs en agriculture pluviale (nuances jaunes) et rizières découvertes (nuances beiges).

L'occupation humaine est peu perceptible directement : villages et ville (Bissau) se marquent plutôt par l'auréole jaune de leurs champs ; une piste est visible grâce à son tracé rectiligne brisé ; de façon générale, les habitats contrastent peu avec leur environnement.

#### **DISPONIBILITÉ DE L'IMAGE :**

L'image de base, sous forme photochimique et sous forme de bande magnétique pour utilisation numérique, est disponible auprès des organismes de distribution des données Landsat (voir p. 51). L'image reproduite ici (composition colorée améliorée) a été traitée par :

Institut Géographique National, 2 avenue Pasteur, 94160 SAINT-MANDÉ - FRANCE.







## Chapitre 4

# La cartographie assistée par ordinateur : l'infographie

Trois faits récents ont contribué à changer radicalement la conception et l'utilisation de l'information cartographique :

- l'arrivée à un stade opérationnel de la *télétection spatiale*, laquelle représente une source d'information relativement économique et potentiellement considérable ;
- la vulgarisation de la *graphique*, science spécifique de la traduction visuelle des données, qui a rationalisé, étendu et généralisé les applications de la cartographie (1) ;
- l'apparition des *micro-ordinateurs*, qui multiplient à bas prix les capacités de traitement.

Ces trois « révolutions technologiques » sont strictement complémentaires : la télétection spatiale met à la disposition des utilisateurs des quantités d'information telles qu'elles ne peuvent être traitées systématiquement que par ordinateur. La micro-informatique libère les utilisateurs d'images satellite des inconvénients que présentent les gros centres informatiques, complexes, coûteux et nécessairement centralisés. La graphique rend possible la synthèse et la communication rapide des résultats de traitements sous forme d'images à forte capacité d'intégration des données et de compréhension facile. La facilité de lecture est en effet la loi première et absolue de toute image graphique, la seconde (corollaire de la première) étant l'instantanéité de son assimilation.

Il ne nous paraît donc ni déplacé ni utopique de traiter de l'application de méthodes et de techniques encore peu courantes dans les pays développés aussi bien que dans les pays en voie de développement.

Ces techniques et méthodes, en constante évolution, sont utilisées de façon très variée ; nous proposons donc ici un cas précis, celui du laboratoire de micro-infographie de Hyderabad (Inde), dont les objectifs et l'organisation sont décrits en quatrième partie de ce chapitre ; les options citées relativement aux équipements et aux méthodes de travail sont fondées sur l'expérience acquise dans le cadre des travaux de ce même laboratoire.

### 1. L'INFRASTRUCTURE

L'infrastructure nécessaire varie en fonction des besoins et des ambitions de l'utilisateur. Pour simplifier, nous décrivons deux niveaux, l'un simple, l'autre plus complexe : la petite « unité de campagne » d'abord, appui logistique modeste destiné à une opération locale, à une circonscription

(1) Voir le chapitre LA CARTOGRAPHIE : PRINCIPES ET TECHNIQUES, en particulier le paragraphe 1 : Le traitement graphique de l'information.



secondaire ; le réseau complet ensuite, susceptible d'assurer la liaison entre les unités décentralisées et le traitement des informations d'un État.

Les équipements décrits ci-dessous peuvent aisément être modifiés et complétés en fonction de la sortie de nouveaux matériels et de l'apparition de nouveaux besoins. Dans ce domaine en perpétuelle et rapide évolution, il serait vain de prétendre faire le point définitif des matériels, des techniques et des méthodes.

## 1.1. L'« unité de campagne »

a) Le *matériel*\* de ce type d'unité se compose au minimum d'un *micro-ordinateur*\* (genre Apple II par exemple) pourvu de 20 à 64 K octets\* de mémoire centrale à accès rapide et de 140 K octets au moins de mémoire additionnelle à accès plus lent (cassette ou disque souple). Il est complété par un *clavier* alphanumérique (genre machine à écrire), par un *écran de contrôle* de 32 caractères par ligne minimum et par une petite *imprimante* de 80 caractères par ligne. Cette dernière doit nécessairement avoir des caractères entièrement programmables afin de permettre des sorties graphiques.

Il n'est pas inutile de souligner que tout matériel informatique exige une alimentation en électricité de qualité suffisante : la stabilité de la tension et de la périodicité assureront une vie plus longue aux équipements et réduiront les risques de panne ; toute coupure électrique, même d'une fraction de seconde, vide entièrement la mémoire des appareils et peut endommager une partie des données enregistrées sur cassette ou disquette ; dans les régions à alimentation électrique peu fiable, il est donc nécessaire de disposer d'un système régulateur. Au-delà d'une température ambiante de 25 à 30°, se produisent des surchauffes à l'intérieur des appareils, les rendant peu fiables : la climatisation (grosse consommatrice de courant) est alors indispensable.

L'unité légère citée ci-dessus peut être complétée avec profit par un écran vidéo qui permet de faire des « brouillons de sortie » avant de lancer l'impression sur imprimante, et par une unité de disquette supplémentaire qui facilite le remaniement des données, rend plus aisée leur duplication et évite de trop fréquentes manipulations des disquettes. Il existe actuellement des équipements qui peuvent évoluer sans difficulté en fonction des besoins.

b) Le *logiciel*\* de l'« unité de campagne » peut être élaboré dans différents langages, mais il doit être conversationnel\* et rester modifiable afin que l'utilisateur puisse l'adapter à ses besoins spécifiques. Le langage *basic* paraît le mieux adapté car il est simple et souple. Il devra néanmoins être de haut niveau car certains algorithmes\* peuvent faire appel à des fonctions et à des calculs complexes. L'idéal est de pouvoir programmer des sous-programmes en langage *assembleur*\*, rapide et puissant : cette possibilité existe sur certains micro-ordinateurs.

La mise au point des logiciels (en quelque langage que ce soit) demande une bonne maîtrise des possibilités du micro-ordinateur et de ses périphériques\* car ces équipements sont alors utilisés au maximum de leur capacité. Il est donc pratiquement indispensable d'acquérir un lot suffisant de logiciels de base auprès d'organismes ayant une bonne expérience en la matière, quitte ensuite à les modifier et à les compléter. À titre indicatif, les logiciels utilisés dans l'opération indienne citée ici représentent plusieurs années de travail pour une équipe de haut niveau.

L'équipement léger permet de gérer des fichiers de données relativement importants (jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'octets), de les traiter et de sortir les résultats sous forme graphique et cartographique.

## 1.2. Une unité spécialisée

Une unité spécialisée ne peut normalement trouver sa place que dans une structure de décision importante : ministère, centre de recherche, organisme de développement, institut de recensement et de statistique au niveau national, opération de développement de grande dimension...

a) Ici aussi, le *choix du matériel* dépend de l'importance du travail à effectuer, donc de la quantité de données à traiter. De simples micro-ordinateurs peuvent suffire, ils connaissent actuellement une montée en puissance qui rend de moins en moins nette la limite entre micro-\* et mini-systèmes\* : le choix doit donc se faire selon les cas d'espèce. Cependant l'expérience conduit à penser que plusieurs micro-ordinateurs spécialisés sont souvent plus avantageux qu'un seul micro-ordinateur multitâche.

La configuration d'une unité infographique spécialisée doit comporter, outre la mémoire centrale et son processeur\* rapide :

— des mémoires moins rapides mais de plus grande capacité (mémoires de masse) atteignant plusieurs millions d'octets (disques durs) ;

- des équipements d'entrée :
  - . système d'acquisition de données rapide,
  - . liaison de lecture des données cartographiques (digitaliseur-coordonatographe),
  - . liaison avec des ordinateurs extérieurs (MODEM)\* ;
- des périphériques de sortie : imprimante graphique, traceur de courbe, écran vidéo.

b) Le *logiciel* comporte naturellement tous les programmes nécessaires à l'utilisation des périphériques cités. Il offre des programmes permettant des sorties graphiques très variées ainsi que des chaînes de traitement intégré combinant analyses statistiques et graphiques, aboutissant à une cartographie d'analyse et de synthèse très efficace.

Une variété quasi infinie de types de courbes et de diagrammes peut également être tracée, sans compter les calculs et agrégations faits à volonté sur les données brutes. Les facteurs limitatifs résident davantage dans le temps disponible et l'imagination de l'utilisateur que dans les possibilités réelles de traitement.

Les deux types d'unités infographiques décrits ci-dessus (« unité de campagne » légère et unité spécialisée, plus importante) constituent les éléments d'un réseau complet d'aide à la décision. Dans l'exemple indien illustrant notre propos, l'unité spécialisée en constitue l'équipement central installé à Hyderabad, capitale d'État, tandis que les chefs-lieux de district sont pourvus d'unités légères.

## 2. SAISIE DE L'INFORMATION : LA MISE EN ŒUVRE DU TRAITEMENT INFOGRAPHIQUE

Quatre grandes étapes peuvent être distinguées dans la mise en œuvre d'une filière de traitement infographique :

- la saisie des données de base (statistiques, informations qualitatives, et surtout identification des lieux de recueil de l'information),
- la saisie des données cartographiques (fonds de carte),
- le traitement des données de base (regroupement ou élimination d'individus, calculs, classements, corrélations, etc.),
- la restitution graphique.

### 2.1. La saisie des données de base

La saisie des données de base est une opération essentielle et délicate car du soin et de la finesse apportés aux opérations préparatoires (codage notamment) dépendra la valeur de tous les traitements qui suivront. La qualité et la fiabilité des produits cartographiques d'une opération informatisée dépendent de la qualité du recueil et du codage des informations mises en fichier :

- chaque unité géographique (village, exploitation agricole, circonscription administrative...) doit être localisée avec précision ; si la précision est impossible faute de document de base, l'appréciation du chercheur de terrain sera toujours meilleure que celle de l'informaticien du laboratoire ;
- chacune des unités géographiques doit être codée selon les repères les plus larges possible : on peut supprimer des références, il est par contre toujours difficile d'en ajouter ;
- la localisation *relative* d'une unité géographique par rapport à ses voisins est plus importante que la précision topographique de cette localisation ; des corrections d'ensemble ultérieures peuvent être apportées si nécessaire par traitement des fichiers ;
- chaque donnée ou chaque ensemble de données relatif à une unité géographique doit être référencé par le code de cette unité : il ne doit pas y avoir de code « inconnu » ;
- on doit disposer d'autant de données que d'unités géographiques : les absences de données ou les « non-lieux » doivent être collectés avec des conventions particulières, le zéro doit être précis et signifier l'absence de phénomène ;
- ne doivent être collectées que des données brutes à l'exclusion de tout ratio ou pourcentage : dans le cas où seuls ces derniers sont disponibles, il est nécessaire de rechercher les données permettant de recalculer les chiffres bruts.

Pour ces raisons, il est difficile de traiter sous forme informatisée des données qui n'ont pas été spécifiquement enregistrées dans ce but car elles exigent un recodage long et fastidieux (1).

(1) Voir le chapitre LA CARTOGRAPHIE DES DONNÉES QUANTITATIVES



## 2.2. La saisie des fonds de carte

On distingue trois types de saisie de fonds de carte, qui correspondent à trois types de cartographie :

- l'implantation *ponctuelle* (les villes d'un pays par exemple), qui n'exige qu'un couple de coordonnées (x et y est le plus simple) ;
- l'implantation *zonale*, qui correspond à des individus constitués par des *surfaces* (forêt, lac, champs de maïs, circonscription administrative...) ; la saisie de cette surface se réduit alors à son périmètre, plus ou moins simplifié en polygone dont le nombre de côtés est variable ;
- l'implantation *linéaire* (une route, une courbe de niveau, une limite administrative), qui exige la saisie des multiples points constituant la ligne, c'est-à-dire un grand nombre de couples de coordonnées xy, rendant l'opération de saisie beaucoup plus complexe.

Actuellement, l'ordinateur n'est utilisé pour la représentation des phénomènes linéaires que par l'intermédiaire d'un traceur qui permet la transcription, avec une grande précision, des repères nécessaires au figuré du fond de carte linéaire.

Les phénomènes ponctuels et zonaux représentent la plus grande partie des cartes thématiques : c'est leur traitement que nous développons ici plus particulièrement.

### a) La saisie des fonds de carte ponctuels

Lorsque l'on dispose d'une « unité de campagne », la saisie des données géographiques peut se faire au clavier comme celle de toute autre donnée, après avoir mesuré sur la carte originale les coordonnées en x et en y des individus à localiser. Ces coordonnées s'expriment en diverses unités, selon le type de sortie dont on dispose.

Si l'on envisage une sortie sur imprimante, la carte originale doit préalablement être quadrillée en fonction de la taille des carrés (ou des rectangles) dans lesquels les caractères frappés par l'imprimante viennent s'inscrire ; autrement dit, c'est la taille des caractères de l'imprimante qui impose la précision du quadrillage qui va servir à localiser les individus. Cette localisation sera par conséquent assez grossière (la « maille » est de l'ordre de 2,5 millimètres sur le traçage obtenu). Il suffira ensuite d'entrer en machine le numéro de colonne en x et le numéro de ligne en y, au croisement desquels se situe l'individu.

Cette saisie peut être faite très rapidement si l'on dispose d'un *digitaliseur*, matériel calculant automatiquement l'adresse en ligne et en colonne d'un point à saisir.

La sortie sur traceur permet une précision atteignant le 1/10 de millimètre. La majorité des traceurs possède une fonction de digitaliseur qui permet une saisie très rapide.

### b) La saisie des fonds de carte zonaux

Ici aussi, le mode de saisie dépend des périphériques de sortie dont on dispose.

Dans le cas de sorties sur imprimante, les aires saisies doivent être simplifiées de manière à ce qu'elles s'inscrivent dans un nombre entier de carrés du quadrillage de base (figure 1).

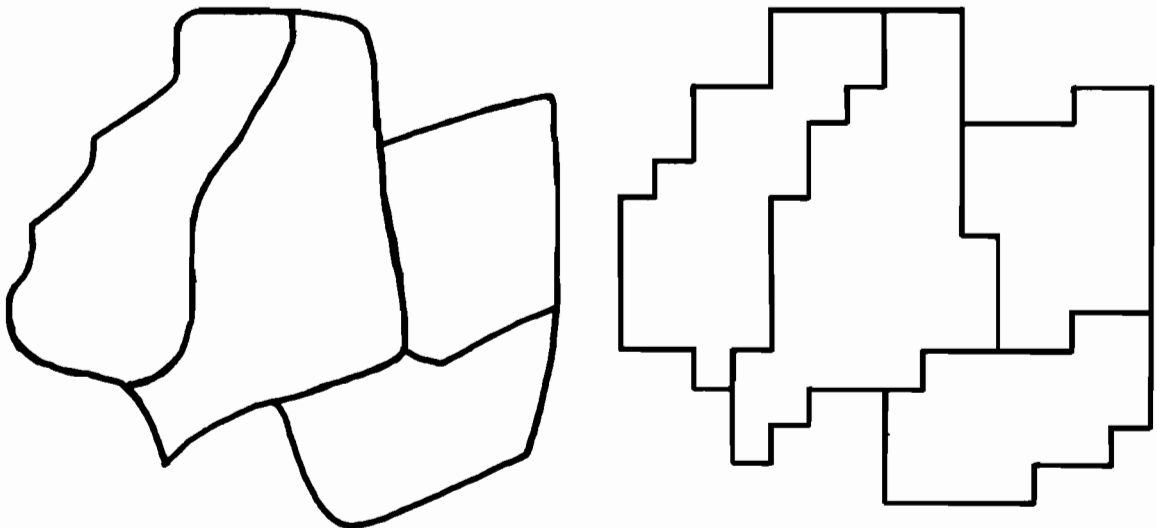


Figure 1

La déformation provoquée par la simplification des limites peut être minimisée en réduisant la taille des carrés du quadrillage. Cette possibilité se heurte évidemment au nombre de carrés disponibles sur une ligne d'imprimante, le plus souvent compris entre 80 et 132.

Cette technique permet de restituer d'un seul tenant des cartes comportant jusqu'à 30 000 carrés.

Quand on envisage une sortie sur traceur, il est nécessaire de simplifier les aires en les réduisant à des polygones ayant le moins de sommets possible. Un juste milieu est donc à trouver entre une simplification excessive (modifiant les périmètres et leur surface) et la conservation de trop nombreux sommets, qui rend les opérations de saisie longues, accroît l'immobilisation de la mémoire de stockage du fond de carte et ralentit la restitution.

Théoriquement, le nombre de zones stockables n'est pas limité, mais en pratique et selon les logiciels utilisés, il va de une centaine à un millier.

### c) La saisie des données linéaires

La saisie des données linéaires est essentiellement utilisée pour la confection de fonds de carte destinés aux restitutions *sur traceur*. Son avantage fondamental est qu'elle permet la constitution d'un ensemble de repères (non exclusivement linéaires, d'ailleurs) dans lequel on pourra puiser à volonté pour construire un fond de carte exactement adapté aux thèmes que l'on envisage de cartographier ultérieurement.

La saisie des données linéaires exige un digitaliseur de bonne qualité. Elle demande une place-mémoire relativement importante, surtout si l'on veut conserver la forme réelle des lignes à saisir. En comptant qu'il faut en moyenne 300 coordonnées par mètre de ligne tracée et 4 octets par coordonnée, une cassette normale peut « contenir » environ 200 mètres de tracé, soit l'équivalent approximatif des courbes de niveau d'une carte topographique à 1/50 000 (format 40 x 56 cm) figurant une région moyennement accidentée.

## 3. LA RESTITUTION CARTOGRAPHIQUE

La restitution sous forme cartographique des données enregistrées sur ordinateur peut se résumer dans le tableau suivant :

Type d'implantation Type d'information	Ponctuelle	Linéaire	Zonale
qualitative	signes différentiels	figurés différents	trames différentielles
ordonnée	peu efficace	peu efficace	trames différentielles selon leur valeur (du blanc au noir)
quantitative	points de taille proportionnelle	épaisseur des lignes	semis régulier de points proportionnels
type de sortie	surtout traceur	exclusivement traceur	imprimante et traceur

Les modes de restitution cartographique de l'information informatisée correspondent aux modes de saisie : ponctuel, zonal, linéaire.

### 3.1. La restitution ponctuelle

La restitution ponctuelle s'effectue surtout sur traceur, qui permet la figuration de signes ponctuels différents et bien distincts, en couleurs si nécessaire (figure 2) :



Figure 2

Le traceur permet également la figuration en points proportionnels de taille précise pour représenter des phénomènes quantitatifs (figure 3) :



Figure 3

Par contre, du fait de la taille maximale imposée par la dimension du quadrillage, la restitution sur imprimante est beaucoup moins satisfaisante car elle ne permet pas le chevauchement éventuel des signes.

## 3.2. La restitution zonale

La restitution sous forme d'implantation zonale est la plus utilisée car elle est la plus naturellement perçue par l'utilisateur. Imprimante et traceur en permettent tous deux de très bonnes représentations. Les imprimantes offrent pourtant l'avantage d'une sortie rapide : une figure peut être exécutée sur imprimante en deux minutes alors que son équivalent sur traceur demande une heure ; la différence de qualité graphique est certes perceptible mais le produit de l'imprimante reste tout à fait satisfaisant.

L'existence de trames « standard » permet la construction de cartes différentielles ou ordonnées (figure 4) :



Figure 4

Des trames automatiquement classées permettent la représentation de séries de paliers proportionnels pour représenter les données quantitatives (1).

## 3.3. La restitution linéaire

La restitution graphique sous forme linéaire se borne actuellement, comme nous l'avons dit plus haut, au tracé de fonds de carte. Ceux-ci peuvent d'ailleurs devenir un outil de réflexion intéressant dans la mesure où ils représentent, en arrière-plan du thème principal, des phénomènes ou des objets pouvant influencer l'interprétation de ce dernier.

L'utilisation des principes de la graphique comme support à la mise en œuvre de méthodes de cartographie informatisée permet l'automatisation de certaines procédures de traduction des données sous forme visuelle. Les recherches en cours permettent de prévoir une automatisation quasi totale des sorties de cartes quantitatives avec un faible taux de rejet. Il en sera de même bientôt pour les cartes en trames ordonnées, bien que les difficultés à surmonter soient plus grandes, notamment en ce qui concerne la sélectivité de chaque palier par rapport au voisin.

On peut désormais espérer que le temps n'est pas loin où des cartes efficaces à tout coup pourront être réalisées en quelques minutes à l'aide d'un micro-ordinateur peu coûteux par des opérateurs non initiés aux techniques de la cartographie mais disposant de logiciels adéquats. La carte informatique pourra alors devenir un outil de travail banal.

(1) Voir FICHE TECHNIQUE, infra pages 78 et 79, figure 7 et 8.

#### 4. MAÎTRISE ET UTILISATION DE L'INFORMATION : L'EXEMPLE DU LABORATOIRE DE MICRO-INFOGRAPHIQUE DE HYDERABAD (INDE)

Dans le cadre de la coopération culturelle et technique franco-indienne, le ministère des Affaires Étrangères français a demandé en 1979 au Centre de Recherche sur l'Aménagement et le Développement Rural (CRADER) de l'université de Rouen (France) de lui prêter son concours pour la poursuite d'une mission d'assistance scientifique et technique à l'État d'Andhra Pradesh, capitale Hyderabad (Union Indienne).

L'un des objectifs du laboratoire était de montrer que les techniques de recherche en sciences humaines et la cartographie par ordinateur peuvent parfaitement s'accommoder de *micro-systèmes informatiques*.

L'ensemble de l'équipement, matériel et logiciel, a été installé au sein du centre de calcul de l'institut de la statistique (*Bureau of Economics and Statistics*) de l'État d'Andhra Pradesh afin de traiter la masse des données collectées en permanence par cet institut.

La mission du laboratoire de micro-infographique de l'institut de la statistique de l'État d'Andhra Pradesh est la suivante :

- moderniser l'informatisation du centre de calcul de l'institut grâce aux dernières techniques de la micro-infographique et aux progrès des périphériques graphiques ;
- améliorer la qualité des publications de planification régionale en réalisant leur traitement et leur figuration graphique ;
- ajuster l'information aux besoins spécifiques du développement en *localisant* les données et en collectant une information plus proche des préoccupations de la planification régionale ; en analysant les données dans le but de diagnostiquer les inégalités locales et sectorielles de développement et de délimiter les aires homogènes aptes à recevoir un même type d'intervention ;
- enfin, assurer la formation des techniciens du département de planification au traitement graphique de l'information et à l'utilisation d'un équipement combinant infographique et graphique.

Le principal intérêt du programme réside dans la *restitution visuelle systématique* de l'information statistique sous forme de diagrammes et de cartes immédiatement disponibles et immédiatement assimilables par les responsables politiques et par les décideurs. Le développement de la micro-infographique apparaît en effet comme parfaitement approprié aux exigences du traitement et de la maîtrise d'une information statistique abondante grâce à sa forte capacité d'intégration des données, à sa rapidité comme outil d'analyse et de publication des résultats, à son coût relativement modeste (en regard des performances réalisées) et enfin grâce à la miniaturisation dont on peut attendre à la fois une diminution des coûts et la simplification des efforts de maintenance.

D'autre part, la micro-infographique paraît être l'outil le mieux adapté à une politique de décentralisation par la mise en place de micro-systèmes actifs conçus de façon à ce que se développe *un dialogue entre l'utilisateur et la machine* à tous les niveaux.

L'équipement du laboratoire de micro-infographique de l'Andhra Pradesh a été sélectionné pour satisfaire des exigences élevées en termes de *capacité de traitement*, de *fiabilité*, de *simplicité*. Le choix d'un micro-système est donc un compromis relativement à ces exigences.

Les périphériques de restitution graphique sont nécessairement lents puisque la sortie est tributaire d'organes mécaniques : il n'était donc pas utile de disposer d'un ordinateur puissant et rapide ; la saisie dépendant de l'habileté de l'opérateur, il suffisait que certaines précautions de programmation soient prises.

Il était plus facile de faire évoluer un micro-système en lui adaptant au fur et à mesure les périphériques souhaités (quel qu'en soit le constructeur) et de remplacer un matériel devenu désuet par un autre, mieux adapté, sans avoir à tout changer.

Enfin, la miniaturisation permettait le déplacement du matériel (un système micro-infographique simplifié peut voyager plus facilement qu'une table à dessin) et la mise à disposition de l'utilisateur au niveau sous-régional d'un dialogue avec la machine aussi aisé qu'avec un ordinateur de plus grande capacité.

Les logiciels du micro-ordinateur sont généralement de type conversationnel et l'ensemble constitue un outil bien adapté : l'utilisation d'un langage interprété (*basic* par exemple) est plus efficace que le recours à un langage compilé (*fortran* par exemple), gênant si l'on veut modifier le programme : compte tenu de la lenteur relative des périphériques, ce qui importe, c'est la *rapidité de mise au point du programme* plus que la rapidité d'exécution du traitement.

Cependant, le micro-système présente des limites d'utilisation. L'évolution des techniques et la miniaturisation des systèmes informatiques n'empêchent pas ces derniers d'être à la merci d'une panne difficilement réparable par l'utilisateur lui-même ; par ailleurs, les possibilités d'adapter des équipements d'origines diverses rendent la maintenance plus complexe...

D'autre part, même si les équipements périphériques du micro-ordinateur sont bien maîtrisés, le principal problème a souvent été celui de la connexion parfois complexe de ces différents éléments

entre eux : ceci est désormais résolu par les nouveaux interfaces type IEEE 488 ou GPIB qui permettent de connecter sur le même câble 16, voire 32 périphériques, offrant ainsi un système de mise en œuvre par l'utilisateur simple et peu coûteux.

Enfin, le handicap le plus important réside évidemment dans la taille de la mémoire centrale, limitée sur beaucoup de micro-ordinateurs à 32 K octets. En fait, il est possible de traiter sous forme d'analyses factorielles ou de programmes de classification la plupart des problèmes qu'on peut rencontrer en sciences humaines, rares en effet sont ceux qui dépassent 30 ou 40 variables.

Les services fournisseurs d'information dans l'État d'Andhra Pradesh ont perçu dans cet outil la possibilité d'une meilleure communication des données (souvent pléthoriques et dans la plupart des cas non interprétées) : la modernisation systématique du réseau statistique permet d'envisager une nouvelle approche de la planification et du développement. En effet, l'implantation de *laboratoires de traitement infographique* simplifiés dans chacun des chefs-lieux de district assure à ces derniers une plus grande maîtrise de l'analyse de l'information : aujourd'hui, il ne s'agit pas de donner des solutions immédiates à chaque problème mais d'améliorer les connaissances sur des phénomènes complexes que l'observation directe ne permet pas de saisir. Les analyses de données offrent alors des résultats qui laissent toute l'initiative aux décideurs.

L'organisation du système informatique de l'institut de la statistique de l'État d'Andhra Pradesh, telle qu'elle est prévue dans son achèvement définitif, est décrite dans les figures 5 et 6.

a) *Les laboratoires de traitement infographique simplifiés* (figure 5) implantés dans les chefs-lieux de district sont articulés autour d'un micro-ordinateur de 48 à 64 K octets équipé d'un clavier et d'un écran de contrôle. Lui sont directement reliées d'une part des unités de mémoire de masse permettant le stockage des données ou leur échange avec d'autres laboratoires (notamment le laboratoire central implanté dans la capitale), d'autre part une imprimante restituant textes, tableaux, diagrammes, cartes.

Selon les besoins spécifiques de chaque district ou de chaque opération, l'ensemble pourra être complété :

- par une ou plusieurs consoles supplémentaires (écran et clavier) permettant de piloter l'ordinateur en soulageant sa capacité ;
- par un système MODEM permettant d'entrer en liaison directe avec le système du laboratoire central au moyen d'une ligne téléphonique ordinaire.

b) *Le laboratoire central* (figure 6), implanté à Hyderabad, constitue un système très complet ordonné autour de plusieurs micro-ordinateurs du même type que ceux des laboratoires simplifiés (1). C'est surtout la variété des périphériques et l'importance des connexions possibles qui différencient le laboratoire central des laboratoires de district. Il assure d'une part le traitement des données et leur restitution sous toutes les formes nécessaires, d'autre part la liaison avec des organismes extérieurs au laboratoire lui-même, équipés également de systèmes informatisés. On remarquera l'importance des connexions entre les divers équipements.

Le système d'acquisition de données rapides, comme le lecteur de cartes perforées, a son utilité : bien que le système « cartes perforées » soit désormais périmé, il est encore très répandu.

Les consoles de saisie directe sur disquettes permettent de réaliser la frappe des données indépendamment de l'ordinateur. Ces données sont ensuite transférées directement vers les mémoires de masse afin de ne pas encombrer la mémoire centrale.

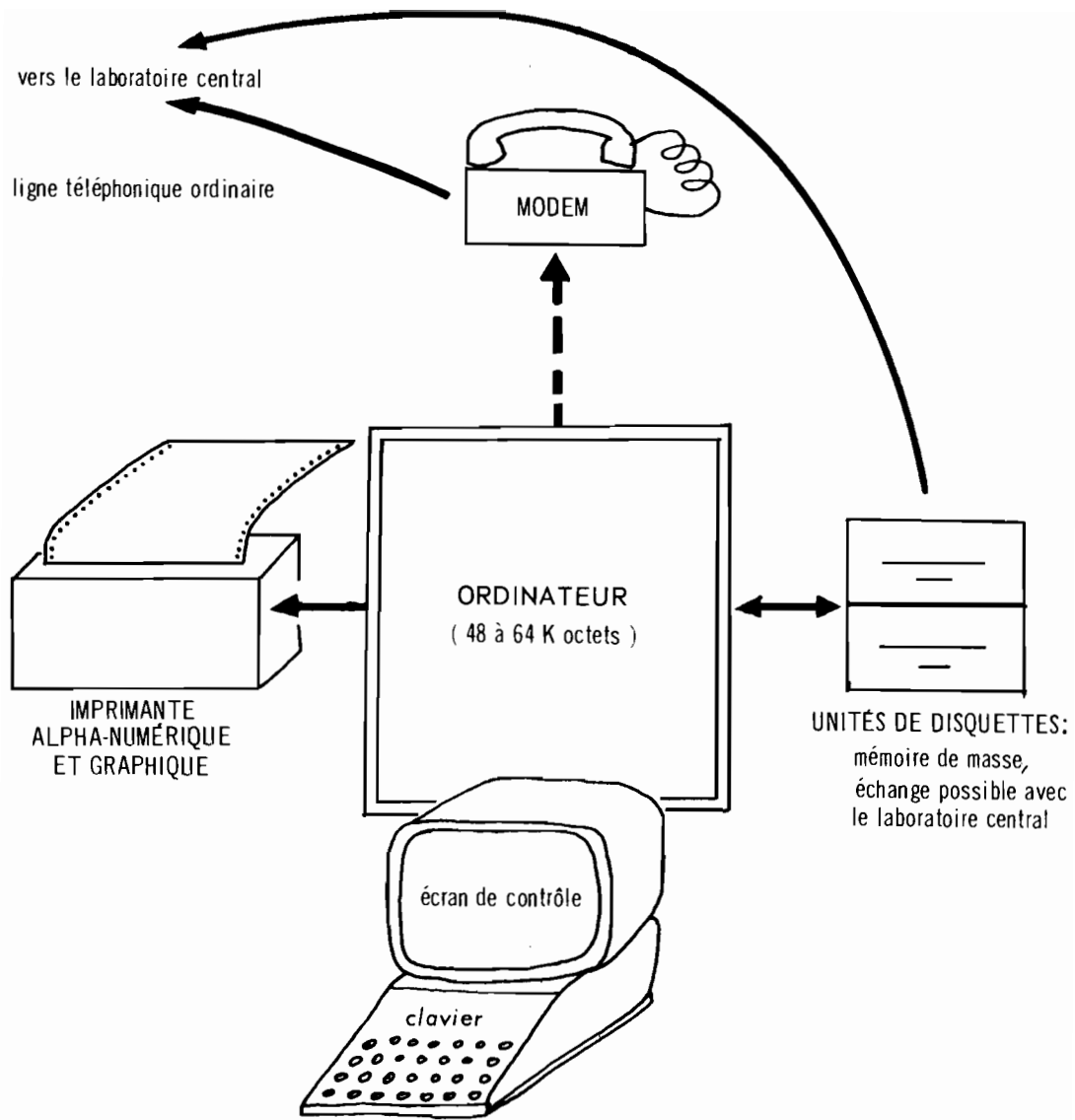
La lecture des données cartographiques est effectuée sur un *digitaliseur-coordonatographe* (tablette graphique) constitué d'une table spéciale et d'un stylet électronique. Cet appareil permet d'enregistrer directement les coordonnées géographiques des points ou des ensembles de points figurés sur une carte ordinaire.

Parmi les périphériques de sortie, *le traceur de courbe vectoriel* permet de restituer des documents de haute qualité sur des supports variés allant du papier ordinaire au calque plastique et à la couche à tracer\* ; il existe plusieurs modèles de traceurs, selon la largeur des supports qu'ils admettent et selon la vitesse de traçage. À titre indicatif, un traceur de dimensions moyennes (surface de tracé de 80 x 40 cm) et de vitesse moyenne (20 à 30 cm par seconde) coûte actuellement (à la fin de 1983) 50 000 francs français ; un traceur de dimensions plus grandes, travaillant sur un mètre de largeur (la longueur étant limitée par celle du rouleau de support utilisé — 20 mètres généralement), à la même vitesse que le précédent, coûte environ 200 000 francs.

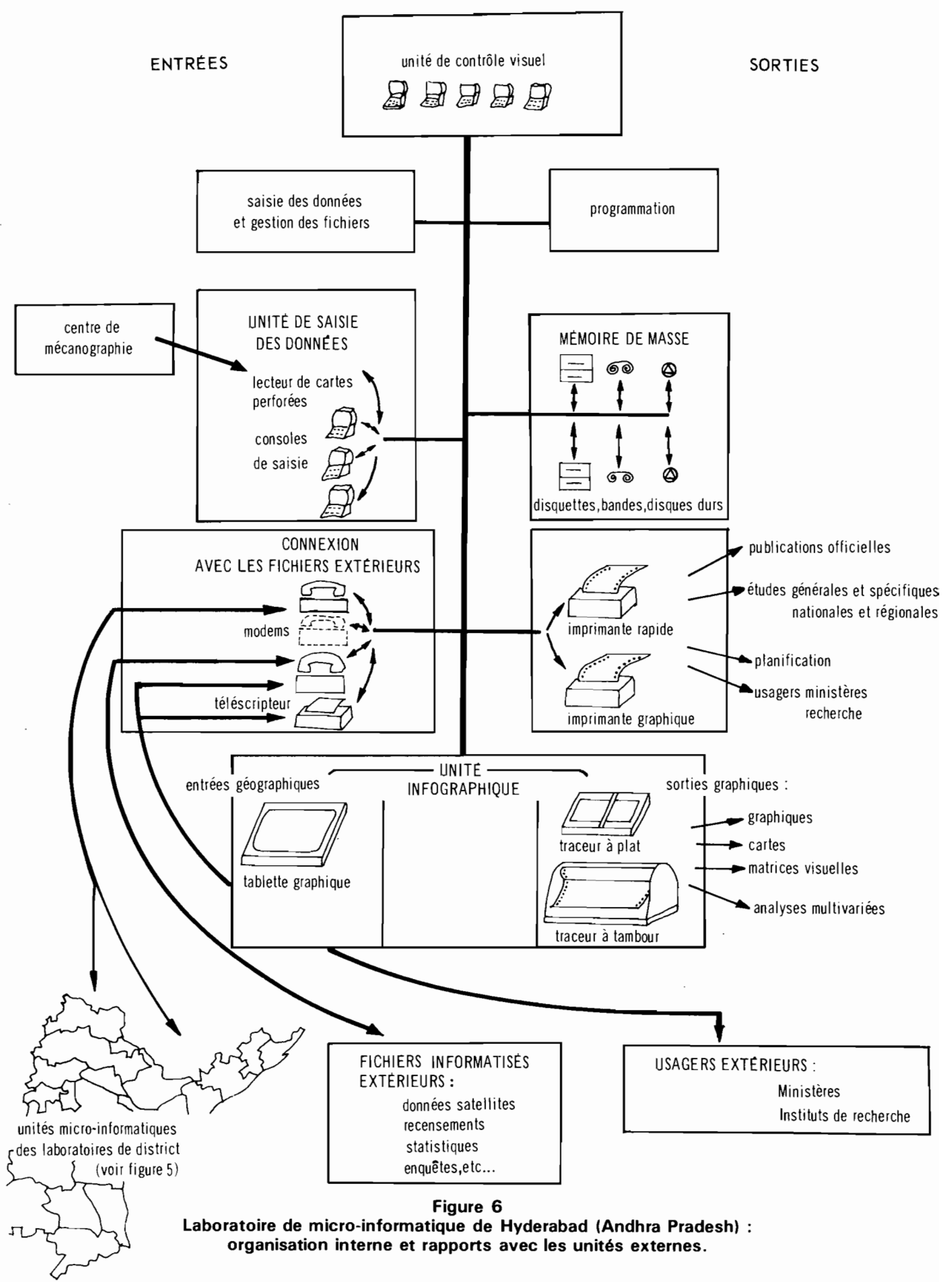
Les connexions avec les autres banques de données se font directement par MODEM et ligne téléphonique ordinaire ou bien indirectement par transmission de bandes magnétiques et/ou de disques.

La possibilité de connexion ouvre l'accès à des banques de données particulièrement intéressantes et utiles comme les recensements (couramment informatisés désormais) et les enregistrements de données satellite : ces derniers peuvent être systématiquement utilisés ici puisqu'il existe à Hyderabad même une station de réception des données Landsat enregistrées sur les péninsules indienne et indochinoise.

(1) Il est possible que l'adjonction d'un mini-ordinateur soit envisagée ultérieurement.



**Figure 5**  
**Schéma d'un laboratoire de traitement infographique simplifié**  
**implanté dans les chefs-lieux de districts (Andhra/Pradesh).**



**Figure 6**  
**Laboratoire de micro-informatique de Hyderabad (Andhra Pradesh) :**  
**organisation interne et rapports avec les unités externes.**



## FICHE TECHNIQUE

Les documents présentés ici sont le résultat de traitements et de restitutions infographiques et ont été réalisées sur traceur. Le sujet traité est le même dans les trois cas : il s'agissait de cartographier le pourcentage de surfaces agricoles irriguées plus d'une fois (1) dans l'année par rapport aux surfaces agricoles totales irriguées, et par circonscriptions administratives (districts ou, pour conserver l'appellation indienne, *taluke*).

Le sujet est présenté ici sous trois formes différentes :

- un diagramme de répartition ordonné et les informations qui en découlent (figure 7) ;
- une carte de répartition des pourcentages par districts, figurée en implantation zonale et en trames ordonnées, correspondant au diagramme (figure 8) ;
- une carte de répartition des pourcentages par districts, figurée en implantation zonale et par signes proportionnels (figure 9).

Les trois figures sont le résultat de trois traitements différents des mêmes données statistiques et géographiques.

### CARTES DES SURFACES PLURI-IRRIGUÉES, ÉTAT D'ANDHRA PRADESH (INDE), Bureau of Statistics and Economics, Hyderabad, 1981.

#### LE DIAGRAMME DE RÉPARTITION ORDONNÉ ET LA CARTE EN TRAMES ORDONNÉES (figures 7 et 8)

Le ratio surfaces pluri-irriguées / surfaces totales irriguées ramené au pourcentage (en  $y$ ) est mis en relation avec les 195 circonscriptions (en  $x$ ) du territoire à traiter. Le faciès de la courbe obtenue permet de déterminer les paramètres qui, transcrits selon les règles classiques de la graphique (variables visuelles) (2), fourniront les termes de la restitution cartographique des données.

Si l'on envisage de tracer une carte en implantation zonale et en trames ordonnées, la courbe permet de découper les données statistiques (les pourcentages de surfaces pluri-irriguées) en classes pertinentes ; si l'on envisage de tracer une carte en implantation ponctuelle et signes proportionnels (3), la courbe permet d'étalonner la dimension des signes.

Ici, l'information statistique, destinée d'abord à une cartographie en implantation zonale par trames ordonnées, a été divisée en 7 classes : le découpage du profil s'est fait selon la méthode des *poliens*, c'est-à-dire d'après le repérage des discontinuités dans une série de données : le programme informatique a sélectionné automatiquement ces classes.

Chacun des districts se voit placé dans une classe et le programme a permis le traçage d'autant de cartes du territoire à cartographier que de classes : sur chacune d'elles sont fournies automatiquement des informations qui introduisent à la lecture de la carte de la figure 8 :

- localisation des districts concernés, en implantation ponctuelle non hiérarchisée ;
- dénombrement des districts concernés et pourcentage par rapport au total des districts ;
- figuré de la trame\* affectée à la représentation cartographique de chacune des classes.

La sélection des trames s'est faite en calculant un indice de répartition spatiale des classes qui indique comment la trame sera utilisée. Le choix des trames se fait alors dans une « banque de trames » en fonction de l'indice de répartition spatiale et du message que l'on souhaite illustrer. Les classes représentant l'ordre d'un phénomène *quantitatif*, les trames retenues assurent une progression visuelle entre le blanc (les plus petites quantités : ici les quantités nulles) et le noir (les plus grandes quantités).

En ce qui concerne le *tracé* proprement dit, le traceur restitue les limites et le contenu de chaque unité géographique (ici les districts) en explorant le fichier des données « fond de carte » et les paramètres définissant les trames sélectionnées. A partir de ces deux ensembles d'éléments, il trace à l'intérieur des unités géographiques la trame correspondant à la classe statistique qui lui est attribuée.

La *carte en trames ordonnées* ne représente pas des quantités mais un *ordre*, une *classification* : la lecture de la carte en trames ordonnées ne permet donc pas de déduire les proportions entre les classes.

#### LA CARTE EN IMPLANTATION ZONALE ET SIGNES PROPORTIONNELS (figure 9)

La carte en points proportionnels de la figure 9 applique les mêmes principes des variables visuelles (du blanc au noir, des petites quantités aux grandes) que la précédente mais un autre procédé de restitution du rapport statistique/figuration cartographique.

Chaque district est représenté par un ensemble de signes identiques et de même taille ; la taille des signes varie avec la classe à laquelle le district appartient.

Les classes, au nombre de 4, ne sont pas les mêmes que précédemment : c'est que la *taille des signes* doit impérativement correspondre à la *valeur* des classes. Les carrés de la classe 67 ont une surface deux fois plus grande que ceux de la classe 33. Théoriquement, il serait possible de représenter graphiquement les surfaces des carrés de façon proportionnelle à des classes ordonnées ou arbitraires. En fait, il est plus facile d'ajuster, comme on l'a fait ici, la gamme des possibilités du traceur.

La figure 9 a l'inconvénient de schématiser les espaces figurés mais elle présente deux qualités très importantes :

- elle restitue visuellement les proportions réelles des quantités représentées ;
- chaque unité géographique est représentée en signes de même taille dont la quantité est un nombre entier directement proportionnel à sa surface : le lecteur perçoit ainsi le rapport quantité-surface de l'espace figuré.

(1) Il s'agit de *cycles d'irrigation* et donc de surfaces agricoles sur lesquelles on peut attendre plus d'une récolte par an.

(2) Voir la première partie, le chapitre 1, LA CARTOGRAPHIE : PRINCIPES ET TECHNIQUES, page 18.

(3) Voir la figure 3, page 70.

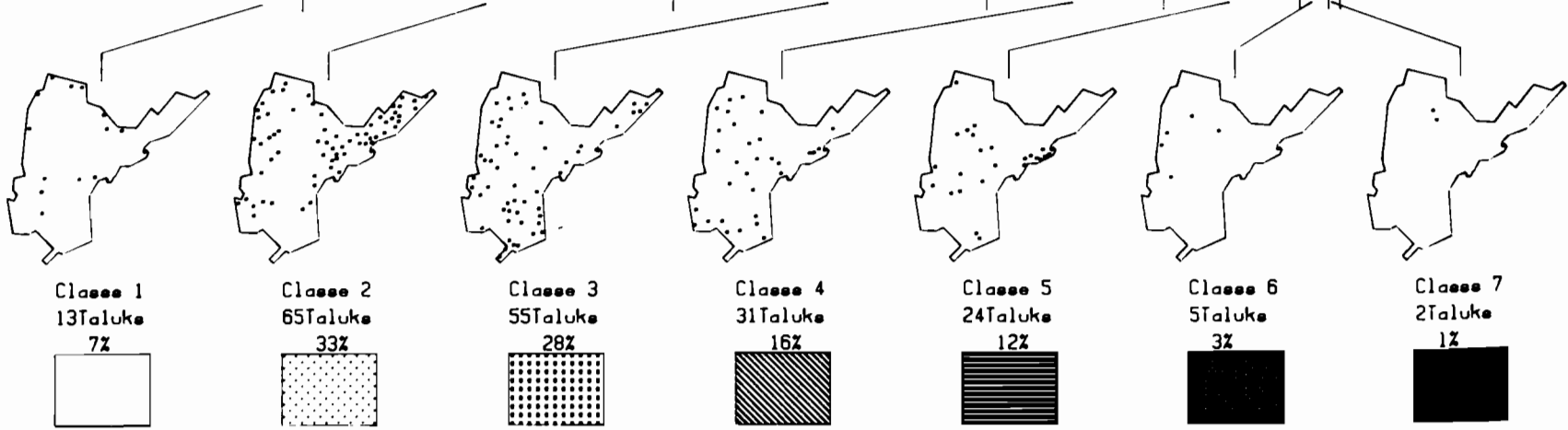
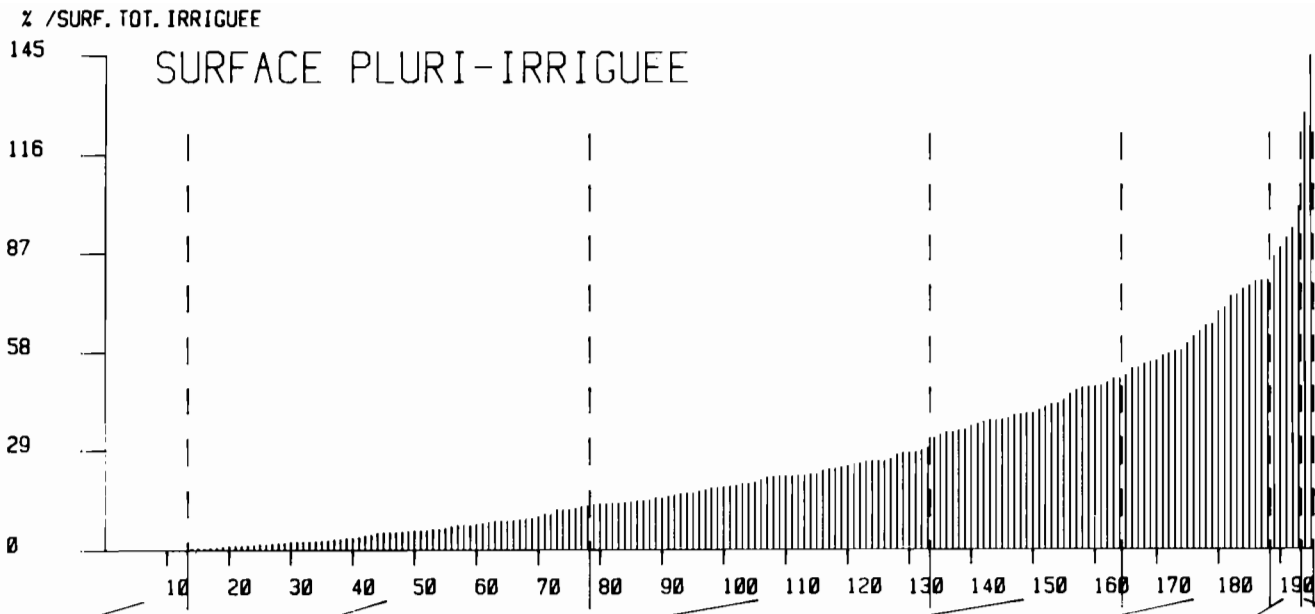


Figure 7

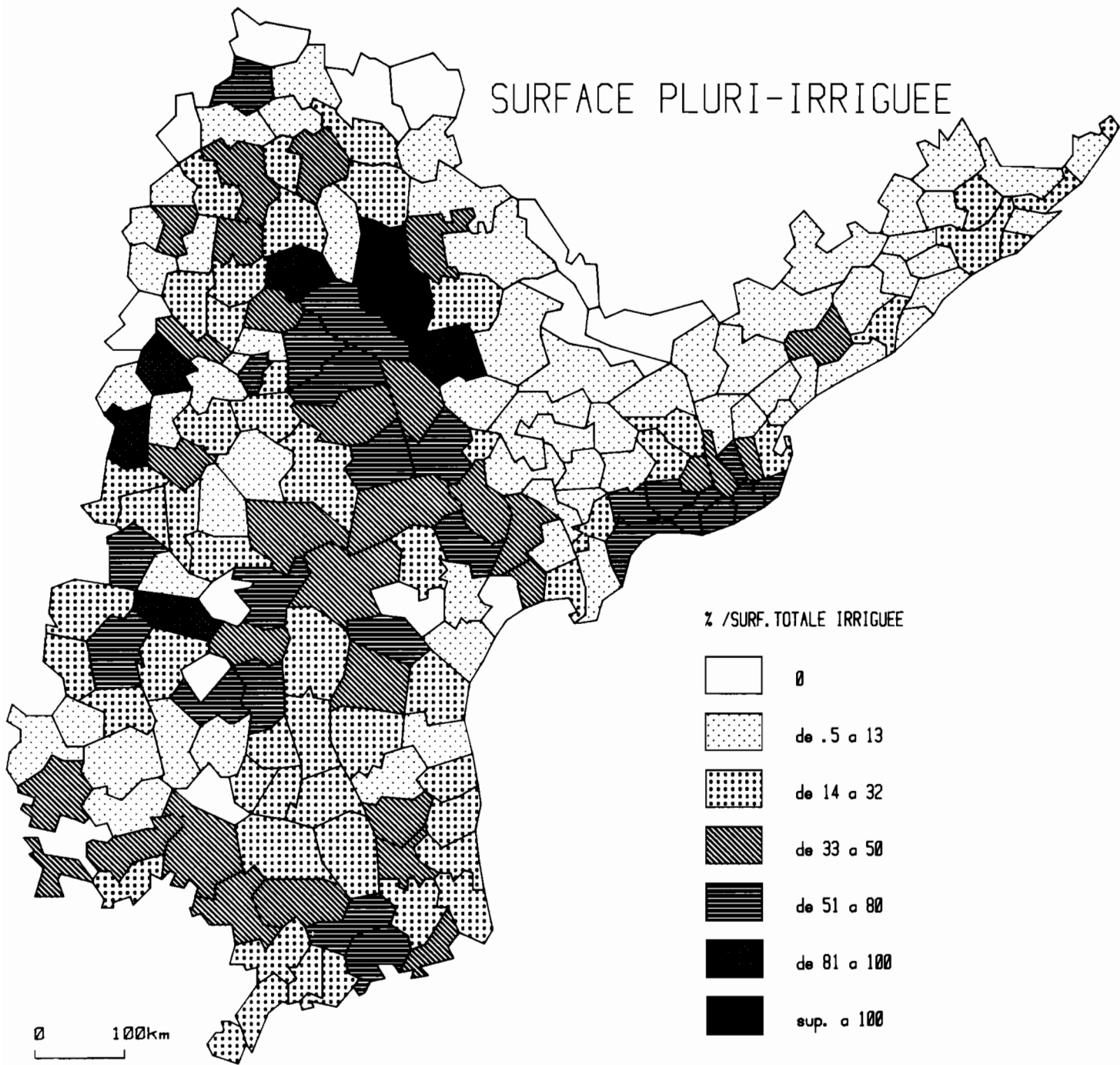


Figure 8

La carte représente donc des valeurs pondérées par rapport à la surface de chaque unité et évite une restitution visuelle-ment et quantitativement fausse.

Les cartes des surfaces pluri-irriguées de l'État d'Andhra Pradesh appartiennent à un corpus cartographié considérable qui traite sous forme infographique les statistiques de l'État sur les faits agricoles, de population, etc., de façon systématique et à la demande des utilisateurs, aux fins de planification et de prévision (équipements, démographie, récoltes, surfaces disponibles, etc.).

#### DISPONIBILITÉ DES DOCUMENTS ET DE L'INFORMATION :

Infographic Project  
Bureau of Economics and Statistics  
Khaiteerabad P.O.  
HYDERABAD  
500004 ANDHRA PRADESH (INDIA)

et

Centre de Recherche sur l'Aménagement et le Développement Rural (CRADER)  
Université de Rouen  
Place Émile Blondel  
76130 MONT SAINT-AIGNAN (FRANCE)

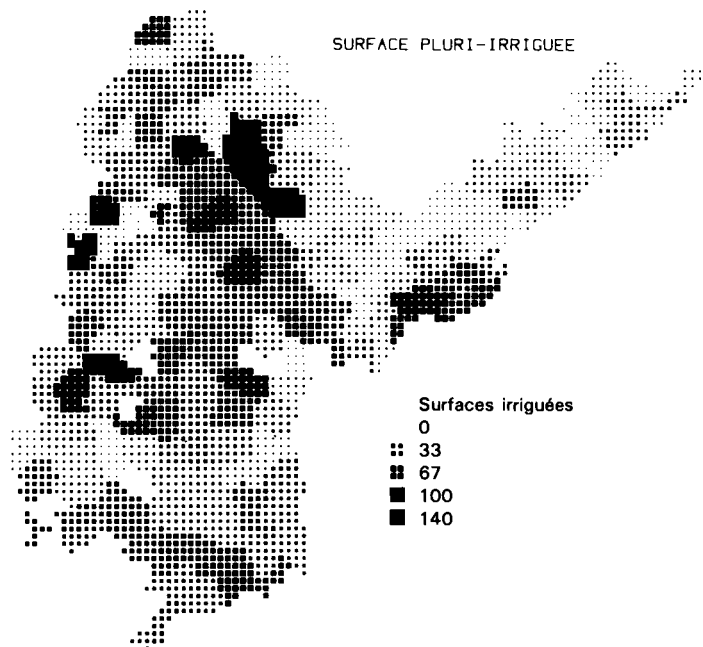


Figure 9



Troisième partie 3

# **La cartographie d'inventaire**



## Chapitre 1

# La carte topographique

Les cartes topographiques ont une place à part dans le corpus des données cartographiées utiles à la prise de décision parce que, contrairement à la plupart des autres cartes, dont le contenu fait appel aux compétences scientifiques de leurs rédacteurs et à des classifications relatives, le principal intérêt de la carte topographique réside dans le fait qu'elle présente systématiquement des grandeurs en valeur absolue. Ces valeurs absolues concernent la planimétrie (position exacte des objets figurés en latitude et en longitude) et l'altimétrie (position exacte des objets en altitude).

Il s'ensuit que la carte topographique constitue la base technique fondamentale, *le fond de carte*, de la plupart des cartes thématiques sur le même territoire. Elle est donc absolument indispensable à toute recherche et à toute restitution cartographique. Par bonheur, la majorité des terres émergées est cartographiée, à des échelles variables, plus ou moins adaptées aux besoins, il est vrai.

### 1. SAISIE DE L'INFORMATION

La quasi-totalité des cartes topographiques proprement dites sont fabriquées à partir de photographies aériennes (1) réalisées systématiquement sur le territoire à cartographier et dans ce but spécifique.

Le traitement des photographies aériennes pour la cartographie topographique se fait par *photogrammétrie*, technique de photo-interprétation qui utilise le principe de base de la stéréoscopie.

Les opérations de restitution de la photographie aérienne sous forme de carte sont :

- *le redressement*, c'est-à-dire la projection plane d'une multitude de points figurés sur la photographie aérienne ;
- la détermination de la position précise des points redressés en latitude, longitude et altitude. Cette opération se fait sur la base des opérations de *géodésie* et de *nivellement* préalablement effectuées sur le terrain avec la plus grande précision possible et une fois pour toutes, en principe.

Le redressement photogrammétrique est maintenant très largement automatisé et fait appel à des appareillages mécaniques complexes et à l'informatique.

Le résultat de ces opérations est une *stéréominute* qui figure, à l'échelle de la photographie aérienne :

- *la planimétrie*, c'est-à-dire la mise en place exacte et absolue, en fonction des coordonnées de latitude et de longitude, des objets caractéristiques du terrain (voies de communication, bâtiments, grands traits du paysage naturel) ;
- *l'altimétrie*, c'est-à-dire le figuré du relief sous forme de courbes de niveau et de points cotés en altitude absolue.

(1) Depuis 1975 environ, certaines cartes topographiques sont réalisées à partir d'images satellite.



La stéréominute est ensuite enrichie par le *complément topographique*, opération effectuée sur le terrain et destinée à indiquer les éléments invisibles ou mal visibles sur la photographie aérienne (chemins forestiers, détails de certaines surfaces cultivées et bâties...) et les éléments que la photographie aérienne ne peut fournir : viabilité des voies de communication, limites administratives, toponymie...

On procède ensuite à l'*habillage* de la carte : encadrements et indications chiffrées des coordonnées géographiques, titres, tableau d'assemblage des feuilles voisines, légende, indications techniques sur la projection, les modifications de la déclinaison magnétique, etc.

La carte est alors dessinée sur autant de supports qu'elle portera de couleurs dans son aspect définitif, puis imprimée.

Toutes ces opérations sont longues, minutieuses, coûteuses. Il s'écoule environ deux années (1) entre la prise de vue aérienne et la publication de la carte. Le prix de revient de chaque planche d'une carte topographique dépend de l'échelle de la carte, du nombre total de planches, de leur format, du nombre de couleurs, du volume de l'édition, de la nature et de la difficulté des travaux de terrain, du prix de revient de la prise de vue aérienne. Il varie dans des proportions qui vont de 1 à 50.

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION

Le niveau de détail de la restitution topographique dépend de l'échelle et diminue avec elle : alors que les cartes topographiques à 1/25 000 ou à 1/50 000 portent généralement tous les détails du paysage visibles par un observateur placé sur le terrain même, les cartes à 1/1 000 000 portent des indications *généralisées* \*, c'est-à-dire moins détaillées, qui ne sont pas pour autant moins exactes.

Le principal intérêt des cartes topographiques est, comme nous l'avons vu, la figuration très détaillée des données précises de la planimétrie et de l'altimétrie. Le repérage planimétrique apparaît sur le cadre de la carte, qui porte les repères des valeurs de latitude et de longitude ; dans les marges de la carte où sont indiquées la projection et les corrections à effectuer en ce qui concerne certaines mesures de distance et d'angle ; sur la carte elle-même sous la forme des croisillons d'intersection des coordonnées géographiques (latitude et longitude) et d'un système de carroyage rectangulaire.

L'altimétrie figure sur la carte elle-même sous forme de courbes de niveau indiquant l'altitude de 10 en 10 mètres, 20 en 20 mètres ou 50 en 50 mètres selon les cartes et les échelles, et de *points cotés* \* qui indiquent l'altitude absolue au-dessus d'un niveau zéro qui est celui du niveau de la mer.

La carte topographique, destinée à l'origine aux opérations militaires, a la vocation de figurer les objets du terrain utiles pour se repérer sur les lieux d'une part, pour y progresser rationnellement d'autre part.

Cette destination privilégie donc la représentation des éléments remarquables du paysage, les voies de communication et les obstacles à la circulation.

Les voies de communication sont en général représentées avec beaucoup de détails, en plusieurs classes selon la nature de la voie (sentier, route, voie ferrée), sa largeur, sa viabilité.

Parmi les obstacles — ou les éléments favorables — à la progression au sol, il y a : l'hydrographie (2) ; la nature de la végétation (haute, basse, dense, cultivée ; les haies, les clôtures) ; la nature du terrain (rochers, escarpements, marécages) ; les constructions...

Les éléments remarquables du paysage sont les constructions, les points culminants, les berges, les voies de communication, les grands arbres...

Dans les éléments de repérage des lieux, la toponymie et les indications sur la destination des édifices sont abondantes et détaillées. La figuration de la toponymie correspond souvent à l'importance relative (taille du territoire, importance administrative ou de peuplement) des lieux. Certaines cartes topographiques portent même l'indication du chiffre de la population de chaque ville et village.

Enfin, les cartes topographiques portent des indications administratives telles que les limites de circonscriptions (communes, arrondissements, départements et régions, frontières d'États), la hiérarchie des chefs-lieux, les numéros des routes.

(1) Estimation de l'Institut Géographique National, Paris, France, en ce qui concerne la rédaction de planches topographiques sur un territoire pourvu de toutes les infrastructures préalables nécessaires.

(2) Les photographies aériennes ne donnent aucune indication sur les terrains situés sous l'eau ; les cartes topographiques ne portent donc qu'exceptionnellement des indications de profondeur de l'eau.

L'abondance de ces informations exige que les cartes topographiques soient publiées en plusieurs couleurs afin de rester bien lisibles. A chacune des couleurs correspond quasi universellement une catégorie d'informations :

- noir : habitat, voies de communication, toponymie, encadrement ;
- bistre et jaune : courbes de niveau, nature du terrain (rochers, sables), escarpements ;
- vert : végétation naturelle et indications sur les cultures ;
- bleu : hydrographie ;
- blanc : aires mises en culture, sans précision.

Les cartes topographiques sont toujours datées : elles mentionnent l'année de prise de vue aérienne, l'année de publication et l'année de révision ou mise à jour s'il y a lieu, ce qui permet à l'utilisateur d'évaluer les transformations intervenues dans le paysage depuis leur fabrication. Il est fréquent qu'elles portent, en marge ou au dos, le tableau d'assemblage des photographies aériennes qui ont servi à les établir.

### 3. MAÎTRISE ET UTILISATION DE L'INFORMATION

La carte topographique, étant une image réduite du paysage, contient une formidable quantité d'informations indispensables au planificateur et à l'aménageur, à condition qu'elle soit à jour ou que les changements intervenus soient connus.

Elle peut être utilisée soit directement, soit indirectement par l'intermédiaire de plusieurs produits cartographiques dérivés adaptés à des usages variés.

#### 3.1. L'utilisation directe

a) La figuration des détails du paysage fait de la carte topographique une véritable *carte d'occupation de l'espace*. Y sont présentés :

- les éléments du milieu naturel : relief, hydrographie, les grands traits de la végétation ;
- les traces de l'intervention humaine sur le paysage naturel : espaces cultivés et souvent indications sur la nature des cultures (vergers, prairies, labours, irrigation), haies et clôtures, chemins et sentiers, pare-feu, etc.
- les édifices : voies de communication, bâtiments, avec des indications souvent très détaillées sur leur destination (fermes, usines, citernes, pylônes), sur leur architecture (paillotes, maisons de terre séchée, bâtiments « en dur »...), ruines...
- le découpage administratif, héritage d'unités territoriales anciennes ou surimposition arbitraire ;
- les infrastructures socio-économiques (écoles, hôpitaux, marchés...).

La carte topographique peut donc être lue globalement comme la transcription non seulement de l'état, mais aussi de la dynamique d'un territoire. D'autre part, chaque catégorie d'information contenue peut être systématiquement sélectionnée et restituée en cartes spécifiques aux échelles correspondant aux besoins : carte des lieux habités, carte des espaces cultivés, carte des aires forestières, carte hydrographique, etc.

b) La carte topographique est le *fond de carte* indispensable aux travaux de cartographie thématique pour deux raisons : d'une part elle est le point d'appui exact et irremplaçable pour le report en latitude et longitude des points figurant le thème à cartographier ; d'autre part, imprimée en trait léger (gris ou bistre) sur la carte thématique, elle permet le repérage précis sur le terrain (plages d'unités pédologiques, contacts géologiques, faciès végétaux, par exemple...).

c) La carte topographique, puisqu'elle porte des indications de grandeur absolue, sert à *faire des mesures* : mesures de longueurs (distances et superficies), mesures de pentes, dénombrements, etc.

Les indications planimétriques et altimétriques fournissent les points d'appui aux travaux ponctuels réalisés sur le terrain à grande échelle : cadastres, préparation aux travaux de génie civil...

d) La carte topographique fournit une information préliminaire de premier ordre pour mettre en œuvre les projets d'aménagement en donnant des indications sur les contrastes entre modes d'occupation de l'espace (plateaux entièrement défrichés et vallées vierges, par exemple), sur la répartition de l'habitat (et par conséquent l'importance relative de la population), sur certaines contraintes de relief ou d'hydrographie, sur certains potentiels (espaces non occupés, bassins irrigables...).

## 3.2. L'utilisation indirecte

Le fabricant de cartes topographiques met souvent à la disposition de l'utilisateur *et sur sa demande préalable* des produits cartographiques plus simples que la carte topographique proprement dite, souvent imprimés en une seule couleur, moins onéreux et plus rapidement disponibles. Il peut aussi établir des cartes complexes à partir de l'interprétation thématique des photographies aériennes qui ont servi à la fabrication de la carte topographique.

On trouvera ci-dessous une liste non exhaustive des produits les plus fréquemment fournis et utilisés :

a) *Fonds de plan topographiques* : ce sont des documents qui portent, à l'échelle et au format de la carte topographique et sur fond transparent (donc facilement reproductible), les éléments de la planimétrie, de l'hydrographie et du relief, séparément (fonds de plan topographiques *simples*) ou réunis sur le même support (fonds de plan topographiques *combinés*). Ces fonds sont couramment utilisés par les bureaux d'études dans tous les domaines de l'aménagement.

b) *Documents techniques provisoires* : ce sont des documents d'attente, portant uniquement l'ossature de la future carte topographique, livrés en attendant que soit publiée la carte définitive. Ils figurent, sous forme simplifiée et monochrome, la planimétrie et l'altimétrie, les axes de circulation principaux, les surfaces bâties, les limites administratives, une toponymie succincte.

c) *Fonds planimétriques* : ils représentent, à différentes échelles et en une ou plusieurs couleurs, tout ou partie des éléments de la carte topographique *sauf les courbes de niveau*. Ils sont employés quand les données du relief ne sont pas nécessaires (travaux sur les réseaux d'habitat et de circulation, fonds administratifs, par exemple).

d) Toutes sortes de cartes thématiques peuvent être établies à partir des photographies aériennes qui ont servi à rédiger la carte topographique :

- par photo-interprétation « manuelle » : cartes morphologiques, cartes d'utilisation du sol, cartes des cultures, etc. ;
- par numérisation : cartes de pentes, cartes des surfaces forestières, des aires mises en telle ou telle culture, etc., qui sont utilisées pour les aménagements agricoles, les implantations de génie civil, les luttes anti-érosives, etc. ;
- par renforcement de la figuration et des classes de certains thèmes de la carte topographique : cartes routières, cartes touristiques, etc. ;
- par ajout d'éléments : carroyage des cartes militaires et des cartes de navigation aérienne, par exemple.

## 3.3. Le « suivi » des cartes topographiques : mise à jour et changement d'échelle

La carte topographique est longue à fabriquer et son prix de revient est élevé. Elle n'est donc pas rééditée fréquemment. Or, les éléments du paysage humanisé, de l'administration, des infrastructures se transforment. Quand ces transformations sont très nombreuses, quand elles affectent des thèmes divers et de vastes surfaces de territoire, la carte est périmée et devient impropre à la plupart des usages d'aménagement et de planification. Il est alors nécessaire qu'elle soit mise à jour.

La mise à jour peut purement et simplement consister en la mise en œuvre d'une nouvelle carte topographique, exécutée de bout en bout à partir d'opérations nouvelles (prises de vue aériennes, travaux de terrain, présentation, etc.).

La mise à jour peut aussi être effectuée d'après l'ancienne carte, complétée et corrigée à l'aide de relevés de terrain et/ou d'une nouvelle prise de vue aérienne. Il va sans dire que la première procédure est beaucoup plus onéreuse que la seconde, mais qu'elle donne des résultats plus satisfaisants.

La carte topographique, qui porte les indications de la planimétrie et de l'altimétrie en grandeurs absolues, peut être agrandie ou réduite sans perdre sa qualité dans ces deux domaines. La carte topographique agrandie ou réduite sert donc de base aux plans et cartes à toutes les échelles. Il est d'ailleurs fréquent que des cartes topographiques soient publiées à des échelles différentes à partir de la même couverture aérienne. Mais en ce qui concerne les figurations non chiffrées, le détail est évidemment proportionnel à l'échelle de la carte et il faut savoir qu'aux échelles supérieures à 1/200 000, l'habitat n'est plus représenté en grandeur relative mais sous une forme schématique (un cercle pour les villes, un point pour les villages, par exemple). Quant à la figuration des thèmes (habitat, végétation, hydrographie, courbes de niveau), il est obligatoire pour obtenir de bons résultats, de *réduire* les données de la plus grande échelle vers la plus petite et non l'inverse. Ceci est d'ailleurs valable pour toutes les figurations cartographiques qualitatives.

Les cartes topographiques existent, à travers le monde, dans un grand nombre d'échelles, depuis le 1/20 000 jusqu'à 1/2 000 000, sans oublier les échelles irrationnelles (1/66 700 environ, par exemple) de certains anciens territoires britanniques...

Dans les pays bien équipés en moyens de fabrication de cartes topographiques et en infrastructures préalables (réseaux géodésiques et réseaux de nivellement), le territoire national est souvent cartographié sous plusieurs échelles différentes, adaptées aux besoins d'utilisateurs variés et nombreux : voyageurs et touristes, aménageurs, administrateurs, militaires, etc., mais même dans ce cas, il est rare que la totalité du territoire national soit couverte par plusieurs catégories de cartes topographiques à grande échelle absolument à jour.

La totalité des pays du monde n'est pas couverte par des cartes topographiques aux grandes et moyennes échelles (1/20 000 à 1/500 000) correctement tenues à jour. Mais il faut signaler la *Carte du monde à 1/1 000 000* qui couvre la quasi-totalité des continents dans une présentation standardisée : 4 degrés en latitude et 8 ou 9° en longitude. Les coupures\* ont été publiées entre 1950 et 1975 et ne sont pas systématiquement mises à jour. Celles qui représentent le continent africain sont souvent publiées sous une forme surchargée d'indications destinées à la navigation aérienne civile. La prochaine mise en service de satellites d'observation de la terre avec stéréoscopie (satellite Spot, notamment) permettra sans aucun doute d'effectuer des progrès en matière de couverture topographique des pays vastes et des pays pauvres.

## FICHE TECHNIQUE

L'exemple présenté ici est la *Carte de l'Afrique de l'Ouest* à 1/200 000 qui, avec 240 feuilles environ, couvre théoriquement l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest francophone. Un ensemble semblable couvre, à la même échelle et selon le même type de carte, l'Afrique centrale francophone, Zaïre excepté. Il faut cependant savoir :

- que certaines feuilles sont épuisées et non réimprimées ou retirées de la vente ;
- que les régions désertiques sont cartographiées à cette échelle sous forme simplifiée, ou sont actuellement en cours de cartographie.

### **CARTE DE L'AFRIQUE DE L'OUEST, publiée par le Service Géographique, Dakar - Institut Géographique National, Paris.**

Échelle : 1/200 000, soit 1 cm = 2 km.

#### **PRÉSENTATION :**

Planches en 4 couleurs, format hors-tout 77 x 65 cm, format utile 55 x 53 cm environ selon la latitude. Chaque carte représente exactement un degré carré de la surface du globe (1).

La figuration territoriale est accompagnée d'indications explicatives placées dans les marges : la plus importante est la légende.

Chaque feuille se définit par un numéro d'identification, placé en haut à droite, qui reporte aux coordonnées géographiques, et par un nom, placé en haut au centre, qui est généralement celui de la localité habitée la plus importante située sur la feuille.

Les indications des marges concernent en outre :

- des informations sur les noms des circonscriptions administratives et sur des frontières d'États ;
- les dates de prises de vue aériennes, d'établissement du canevas astronomique qui a servi à « caler » les principaux points de la carte en latitude et en longitude, du complètement\* sur le terrain, de la publication, des rééditions ;
- les indications techniques sur le procédé de triangulation employé ;
- l'angle entre nord magnétique et nord géographique tel qu'il était au moment de la publication de la carte et les indications permettant de le calculer ensuite ;
- les conventions phonétiques qui ont été établies pour transcrire la toponymie ;
- les indications géométriques de la projection utilisée permettant de faire sur la carte des mesures de distance précises et exactes ;
- les noms des feuilles voisines.

La Carte de l'Afrique de l'Ouest à 1/200 000 est très complète et porte toutes les indications citées. La représentation des faits hydrographiques, celle des axes de communication et la toponymie y sont particulièrement détaillées.

L'ensemble des feuilles de la Carte de l'Afrique de l'Ouest à 1/200 000 constitue l'outil fondamental des travaux d'aménagement et des cartographies thématiques ultérieures en même temps qu'elle figure l'inventaire de nombreux facteurs de production. La couverture de très vastes espaces permet une utilisation standardisée et systématique.

Cependant, la plupart des feuilles sont de fabrication ancienne, rarement actualisées en raison du coût de fabrication élevé ; de nombreux éléments représentés (habitat, communications, espaces cultivés) sont désormais périmés. La toponymie, très utile parce que très détaillée, est souvent mal transcrite ou mal placée ; la connaissance du terrain peut compenser ces inconvénients.

#### **ILLUSTRATION, © IGN 1959 - Autorisation n° 99-0559 :**

Feuille GAO-EST (SOUDAN, 31-I), publiée en 1959.

Échelle : 1/200 000.

Surface du rectangle présenté : 36 km x 51 km, soit 1 836 km<sup>2</sup> (chiffre arrondi).

La région présentée se trouve immédiatement à l'est de la ville de Gao (République du Mali) dont on voit la piste d'atterrissage en bordure de la carte. Le fleuve est le Niger qui coule ici vers le sud (bas de la carte).

On a reproduit une partie des bordures de la carte, qui concerne :

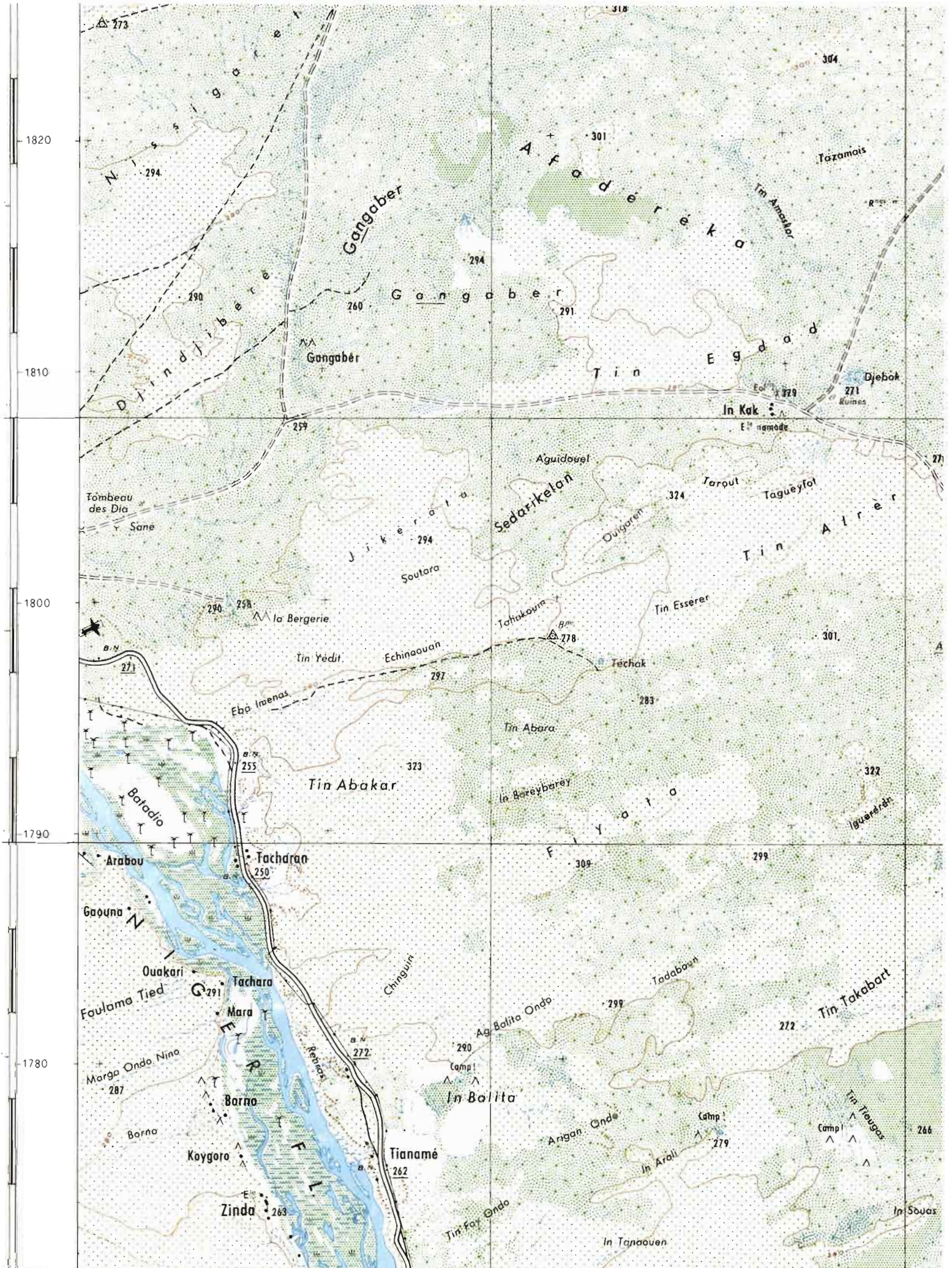
- le repérage des coordonnées géographiques, indiquées en chiffres toutes les cinq minutes, par une échelle toutes les minutes et par un carroyage\* matérialisé sur la carte en traits continus toutes les 10 minutes ;
- un repérage kilométrique de 10 en 10 kilomètres (c'est-à-dire de 5 cm en 5 cm sur la carte) dit quadrillage MTU (« Mercator Transverse Universelle »), destiné à un éventuel usage militaire.

Sur la carte elle-même, on remarquera :

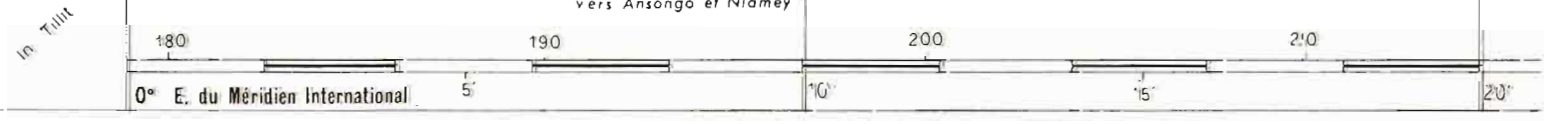
- la disposition de la toponymie (Djindjibéré, Ouigaren, In Bareybarey, par exemple) suggérant l'orientation du relief (ici, des dunes éoliennes fixées par la végétation) ;
- les indications sur l'habitat mobile (« campements » et signe  $\wedge$ ) ;
- les indications d'ordre historique (Sané, tombeau des Dia) ;
- la figuration des détails du milieu fluvial, contrastant avec les aires voisines : cours principal du Niger et bras secondaires, zone d'inondation en hautes eaux, végétation spécifique (palmiers), rebord escarpé de la rive gauche... ;
- dans la marge, *In Tillit* est le nom de la feuille qui se raccorde au sud-ouest de cette feuille.

(1) A quelques exceptions près, exigées par le découpage et l'adaptation aux frontières.





Route Fédérale n° 8 Niger-Soudan  
vers Ansongo et Niamey





**DISPONIBILITÉ :**

Les cartes éditées par l'Institut Géographique National-Paris sont en vente :

- à l'agence IGN de Paris, 107 rue de La Boétie, 75008 PARIS ;
- dans les services spécialisés des pays cartographiés (services topographiques en général) ;
- dans les agences commerciales de l'IGN à l'étranger.

Rappelons que la vente au public des cartes topographiques de certains pays est soumise à l'autorisation de ceux-ci. Ordre de grandeur de prix de vente au 31/12/83 de la carte topographique de l'Afrique de l'Ouest à 1/200 000, à l'agence de vente de Paris :32,00 FF.

Les photographies aériennes dont ces cartes sont issues sont disponibles à la vente et à la consultation (avec les réserves ci-dessus) à Paris et dans les pays concernés.

## Chapitre 2

# La géologie

La géologie est à la fois la description des masses minérales qui composent l'écorce terrestre (la lithosphère) et la reconstitution de leur histoire. Le travail du géologue consiste donc à décrire et à identifier les masses minérales observables à la surface de la terre ou à proximité de la surface, à comprendre les processus de formation et d'évolution qui ont contribué à leur mise en place pour aboutir à leur composition et leur répartition actuelles. Le travail du géologue cartographe consiste à traduire graphiquement en deux dimensions géographiques le résultat des travaux d'observation et d'analyse génétique. Dans la plupart des cas, il ne se contente pas de traduire le résultat des travaux d'autres chercheurs : il traduit le résultat de ses propres travaux d'observation, d'analyse et de synthèse.

En géologie, une part importante des travaux consiste en la réalisation de cartes pour la recherche fondamentale, l'inventaire des ressources, à toutes les échelles. Parler de la carte géologique est une gageure : la typologie de la cartographie géologique est variée et complexe et elle a évolué avec le temps ; elle n'est pas la même d'un territoire à un autre, d'un rédacteur à un autre, d'un budget à un autre...

Il n'est donc pas possible de présenter dans ce chapitre la somme des informations nécessaires à la compréhension approfondie des travaux géologiques et de leurs résultats cartographiés. On y trouvera cependant les aspects les plus importants de la cartographie géologique, ceux qui sont les plus susceptibles d'éclairer les phases de saisie, de restitution et de maîtrise des différents documents cartographiques que les géologues sont capables de fournir dans leur spécialité au demandeur d'un inventaire.

Les 150 millions de kilomètres carrés de terres émergées sont actuellement tous couverts par au moins un document cartographique. Celui-ci peut être à petite échelle et résulter alors de synthèses de travaux à plus grandes échelles sans pour autant que la région précise à étudier possède de tels documents aux grandes échelles. L'atlas géologique du monde en 22 feuilles établi par l'Unesco et la Commission de la Carte Géologique du Monde couvre tous les continents et esquisse, pour les feuilles 20, 21 et 22, la géologie sous-marine des océans Pacifique, Indien et Atlantique.

Toutefois, pour les 350 millions de kilomètres carrés de croûte terrestre immergée, dont 120 millions de kilomètres carrés de plateau continental, la documentation publiée reste beaucoup plus succincte ; elle s'exprime soit par des cartes géologiques à très petite échelle (1/36 000 000 pour l'océan Pacifique, 1/34 000 000 pour l'océan Atlantique, 1/29 000 000 pour l'océan Indien), soit par le résultat de travaux de sismostratigraphie sous forme d'esquisses structurales. Les cartes géologiques publiées à plus grandes échelles sont encore rares pour les zones immergées bathyales ou néritiques (1). Citons en exemple la carte géologique de la Manche dont l'aspect et l'échelle ressemblent à ceux d'une carte géologique de terre émergée.

Il reste néanmoins beaucoup à faire, notamment à moyenne échelle : en 1965, 60 % seulement de la superficie de l'URSS étaient levés à 1/200 000 et 40 % seulement des USA à 1/250 000. A cette même époque, si l'Europe occidentale était depuis longtemps déjà couverte par des cartes à grande échelle, des continents entiers comme l'Afrique et l'Amérique du Sud ne disposaient que de

(1) Néritique : en océanographie et en géologie notamment, qualifie les phénomènes relatifs à la plate-forme continentale.



cartes d'exploration de première synthèse sans que l'on puisse prévoir le relais nécessaire vers un type de carte plus élaboré et plus détaillé.

Si l'on constate un développement de la cartographie géologique à l'échelle mondiale, il se traduit d'une manière très inégale en fonction des pays : d'une part, l'accent est mis sur la cartographie à grande échelle ou sur la révision des cartes périmées des pays industrialisés ; d'autre part, est entreprise l'exploration géologique des marges continentales et des fonds océaniques, pour des raisons évidentes de recherche minière et subsidiairement de contrôle des ressources de la plate-forme continentale. Dans cette course à la carte, les pays pauvres restent largement à l'écart, en général pour des raisons d'impossibilité financière, mais aussi par manque de géologues ou de service géologique national organisé dans ce but.

## 1. SAISIE DE L'INFORMATION

L'essentiel de la saisie de l'information géologique réside dans les *levés de terrain*, particulièrement coûteux dans certaines régions d'accès difficile. Pour des raisons d'ordre pratique et de la même façon qu'en pédologie, le travail de terrain est préparé minutieusement et précédé d'une phase de consultation et d'analyse des documents existants.

### 1.1. La documentation préalable

Pour orienter les levés à terre, les affiner en cours de travail et enfin les compléter lors de la phase de synthèse, le géologue intègre les informations préalablement recueillies, présentées sous forme cartographiée, et utilise les données de la télédétection.

a) La carte topographique est un document essentiel : elle va servir de fond à la carte géologique en cours de préparation ; la topographie en outre peut orienter par elle-même les travaux de levés : l'hydrographie, l'orographie reflètent certains faits géologiques ; la morphologie peut donner des indications sur certaines unités lithologiques ; l'alignement des sources sur les fractures ; la toponymie sur les exploitations anciennes et actuelles de substances utiles ou de minerais.

b) Les photographies aériennes et la photogéologie

Découlant des progrès de l'aviation et de la photographie des années 1940-1945, les photographies aériennes ont été utilisées intensivement en cartographie géologique dès la décennie 1950. La couverture aérienne de la totalité des aires émergées a été réalisée durant ces dix années et corrélativement les travaux d'exploitation géologique et minière ont intégré cet outil dans leurs démarches.

Leur usage reste indispensable à toute cartographie géologique actuelle. L'échelle des documents utilisés est en général le 1/50 000. La vision stéréoscopique est irremplaçable pour tout géologue commençant une étude de terrain ; différents éléments peuvent être observés d'après photographie aérienne : réseau hydrographique, lignes de rupture de pente, contacts géologiques, accidents cassants, affleurements... La photogéologie préliminaire aux travaux de terrain sera d'autant plus efficace qu'elle sera moins interprétative ; elle va offrir au géologue cartographe un squelette de carte à partir duquel les travaux de terrain seront orientés de la meilleure manière.

Dans les régions dépourvues de cartes topographiques à grande échelle, le montage des photographies aériennes et les esquisses photogéologiques permettent d'obtenir un fond de carte sur lequel on reporte les levés de terrain. Enfin, ceux-ci effectués, un nouvel examen des photographies aériennes permet de les compléter et de les préciser.

Le couvert végétal gêne parfois l'observation géologique mais ne l'interdit pas : certains traits géologiques sont repérables même dans les zones de forêts denses, soit par de brusques dénivellations, soit par des changements de végétation.

c) Les cartes aéromagnétiques figurent les anomalies magnétiques au sol. Ces anomalies sont liées à la structure et à la nature des terrains. Les cartes sont dressées à l'aide d'itinéraires aériens parallèles entre eux et si possible perpendiculaires aux structures majeures de la région. La carte aéromagnétique est un bon document préliminaire aux levés de terrain ; elle vient en complément de la photogéologie. Cependant, ce type de carte n'est vraiment concevable que pour des régions dont la cartographie géologique a dépassé le stade de la reconnaissance.

d) D'autres données de télédétection contribuent à la cartographie géologique : l'étude des *images obtenues par les satellites de ressources terrestres* tels Landsat apportent aux travaux géologiques une dimension globalisante souvent utile, du fait de leur échelle relativement petite (1/100 000 et au-dessous). L'exploitation des documents Landsat numérisés peut conduire, sur des zones

restreintes, à des différenciations lithologiques relativement fines et elle sert de complément à l'étude des photographies aériennes. Landsat a permis de mettre en évidence des zones de fracturation non encore repérées, des phénomènes et gisements géothermiques et de façon générale la géologie de surface. Landsat a fourni également une aide non négligeable à la prospection minière et pétrolière.

D'autres satellites et des opérations aéroportées recueillent des *données thermiques* (par exemple le satellite HCMM) et des *données radar* (le satellite Seasat) utiles à l'hydrologie et à la géologie. Ces données sont particulièrement importantes dans les pays proches de l'équateur où le couvert nuageux est quasi permanent.

L'*électromagnétisme aéroporté* est utilisé pour la recherche des sulfures métalliques. Il exige des vols à très basse altitude relative, 120 mètres environ. Son prix de revient élevé (600 francs français le kilomètre) confine son utilisation à la prospection minière des zones déjà soupçonnées de contenir des concentrations de sulfures. Certains de ses résultats, comme la localisation des fractures peu visibles en surface, peuvent aider à compléter la cartographie locale.

La *scintillographie* aéroportée exige elle aussi des vols bas et serrés mais ne peut être utilisée que s'il existe un recouvrement humide de plus d'un mètre d'épaisseur. Cette méthode est employée pour la recherche des indices radioactifs mais différencie aussi les zones granitiques, les schistes, les calcaires... Ses résultats peuvent donc être intégrés dans une cartographie à niveau local mais ils restent le plus souvent confidentiels. Leur prix de revient est également très élevé.

## 1.2. Les travaux de terrain

Les modalités de la saisie des données de terrain varient en fonction :

- de l'environnement (voies de pénétration, couvertures pédologiques et végétales, climat) ;
- de la nature géologique de la région à cartographier ;
- de l'objectif proposé : géologie fondamentale, objectifs appliqués (miniers, pétroliers, agronomiques, géotechniques, etc.).

### a) Les facteurs d'environnement

Ces facteurs jouent un rôle important dans les modalités de la saisie des données à terre. Dans les forêts équatoriales, par exemple, les difficultés de pénétration et de recherche des affleurements sont grandes ; la densité des points d'observation du sous-sol reste faible, la roche saine est souvent couverte d'altérites dont l'épaisseur peut aller de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres.

En zone désertique, une pléthore apparente d'affleurements s'offre à l'observation mais les recouvrements superficiels de formations meubles et la patine désertique oblitèrent tout ; le climat excessif amoindrit ou annule le rendement durant les mois les plus chauds.

L'usage d'engins mécanisés de transport (motos, voitures tout-terrain, hélicoptères), la nécessité d'implanter des campements mobiles et d'en assurer le ravitaillement créent une intendance souvent lourde dont la maintenance et l'utilisation, si elles ne sont pas correctement maîtrisées, obèrent la qualité des travaux de cartographie.

### b) La nature géologique du terrain

La nature géologique de la région à cartographier détermine, du fait de la spécialisation actuelle des connaissances, le choix de cartographes qui devront être, par exemple, familiers de la géologie sédimentaire, de la géologie des ensembles métamorphiques et plutoniques ou de la géologie structurale, selon le type de terrain ou le type de cartographie désiré. Il est difficile actuellement d'obtenir de bons résultats cartographiques sans cette division du travail, d'autant que les cartographes de terrain auront le plus souvent à travailler avec des géologues encore plus spécialisés tels que sédimentologues, paléontologues, stratigraphes, palynologues, pétrographes, gîtologues, etc., qui demandent, pour assurer une bonne qualité de leur collaboration, à participer aux travaux de terrain pour leur domaine propre.

### c) L'objectif des levés de terrain

Enfin, l'objectif proposé influe sur les modalités de la saisie des données. Si la tâche principale ne peut être que la cartographie, le fait que l'objectif assigné soit, par exemple, un programme de développement minier, pourra inciter à mener de front cartographie et prospection minière préliminaire ; l'expérience montre assez souvent que ce cumul d'activités n'est pas toujours un gain de temps ni de qualité des résultats ; le cartographe peut en effet difficilement se distraire de sa tâche spécifique pour s'occuper d'investigations qui, plus rationnellement, doivent suivre cette cartographie. Néanmoins, il est tentant dans les régions difficiles d'accès, où le prix de revient de la journée d'une mission de terrain est élevé, d'adjoindre à cette mission des collaborateurs affectés à des tâches de développement et qui auraient dû normalement attendre la fin des résultats cartographiques pour commencer à opérer.

Les travaux de terrain proprement dits se déroulent selon des itinéraires, des coupes, des filages de contours, dont la densité est fonction de la complexité de la zone à cartographier et de l'échelle choisie. Le rendement au niveau journalier est impossible à estimer : une coupe stratigraphique en un point donné peut exiger plusieurs jours de travail et le relevé d'une large surface structurale être fait en quelques heures... Si des sondages existent, leurs coupes fourniront de précieux renseignements sur l'évolution en profondeur de formations géologiques et contribueront à améliorer la qualité des travaux de surface en permettant une meilleure interprétation des observations de terrain.

### 1.3. Les travaux de laboratoire

Les matériaux récoltés lors des levés de terrain peuvent faire l'objet d'études de laboratoire variées et complexes qui mettent en œuvre de nombreuses disciplines spécialisées des sciences de la terre et utilisent tout un appareillage physico-chimique parfois lourd et coûteux. On peut citer les analyses chimiques, pétrographiques, minéralogiques ; l'identification des fossiles ; l'analyse géochronologique, etc.

Le résultat de ces études complète en retour les données de terrain. On assiste à des allées et venues terrain-laboratoire au cours desquelles l'histoire géologique de la région étudiée émerge peu à peu pour être à la fin maîtrisée.

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION

La carte géologique représente la nature de la surface de la lithosphère sur un fond de carte topographique généralement allégé, mais où les principaux éléments de repérage sont conservés.

Sur la carte géologique figurent les différentes formations présentes sur l'aire cartographiée : leurs contours, leurs contacts et les relations qu'elles peuvent avoir avec les voisines, leur nature lithologique, leur âge et les éléments de structure interne tels que ceux-ci apparaissent à la surface. L'architecture d'ensemble est cartographiée avec des signes distinctifs conventionnels.

La carte géologique doit être impérativement accompagnée d'une légende, disposée le plus souvent dans la marge même de la carte, et surtout d'une *notice* explicative parfois très copieuse qui détaille chaque formation, sa genèse, ses transformations successives s'il y a lieu, bref l'*histoire* de la croûte terrestre dans l'emprise de la surface cartographiée.

Le document achevé est le plus souvent présenté en couleurs. Il existe des traditions dans l'emploi des teintes, qui ne sont généralement pas choisies indifféremment. L'ensemble offre un aspect esthétique.

La lecture de la carte géologique est néanmoins difficile, elle doit s'apprendre. Pour qui sait lire une carte géologique, les phénomènes apparaissent en trois dimensions ; l'œil exercé pratique des coupes géologiques, saisissant ainsi la structure interne de la partie superficielle de la croûte terrestre.

Il existe toutefois d'excellentes cartes géologiques en noir et blanc, publiées actuellement (cartes géologiques de reconnaissance à 1/125 000 du service géologique du Canada, par exemple). Chaque affleurement d'une formation donnée y est identifié par un numéro reporté en marge dans la légende, qui en donne l'identification exacte. L'utilisateur n'a plus qu'à colorier à la main ces cartes pour obtenir un document d'aspect classique.

Le prix d'une impression couleurs est en effet très élevé et cet effort financier ne se justifie que dans la mesure où le nombre d'exemplaires devant être utilisé est lui-même élevé, de l'ordre de 1 000 à 2 000. Si les utilisateurs à prévoir sur une période de 5 à 10 ans sont peu nombreux — une cinquantaine, une centaine — l'impression en couleurs peut devenir un luxe dont il est préférable de se passer pour reporter les crédits ainsi économisés sur des travaux originaux supplémentaires. En d'autres termes, l'excellence esthétique du document n'apporte aucune amélioration à la qualité du travail de base et peut même, dans certains cas, abuser le lecteur, qui prendrait pour une excellente carte ce qui ne serait, en fait, qu'un excellent dessin.

### 2.1. L'échelle de restitution

Le choix de l'échelle de la cartographie varie en fonction de la précision que l'on veut obtenir. On cartographie les zones peu connues et vastes à 1/200 000, celles mieux connues ou complexes à des échelles plus grandes : 1/100 000, 1/50 000. L'échelle de la minute des levés est le plus souvent deux à quatre fois plus grande que celle du document final imprimé. Ainsi, pour un document final à 1/200 000, les minutes sont à 1/50 000.

Il est à noter que certains problèmes géologiques ne peuvent être abordés, sur le plan cartographique, qu'à une échelle suffisamment grande, le 1/50 000 le plus souvent. Pour des travaux particuliers des échelles encore plus grandes sont utilisées : 1/10 000, 1/5 000, 1/2 000, voire 1/500. A ce niveau, il s'agit de documents spécialisés : cartes géologiques à usage minier, cartes géotechniques de géologie urbaine, etc.

A ce propos, soulignons que la pertinence d'une information n'est pas accrue à l'agrandissement de l'échelle à laquelle elle est restituée sur la carte puisque la densité des observations est fonction, une fois pour toutes, de l'échelle choisie pour sa restitution. Une carte dressée à 1/200 000 ne permet pas de faire une carte de même valeur à 1/50 000 car cette dernière exige un nombre plus élevé d'observations. Il suffit de savoir que pour dresser une carte à 1/50 000 de 2 400 centimètres carrés (couvrant 20 kilomètres sur 30 au sol) ou une carte à 1/200 000 de 2 500 centimètres carrés (couvrant, elle, une aire de 100 kilomètres sur 100), il faut le même temps de travail, soit environ un an dans une zone qualifiée de facile, 3 ans dans une zone considérée comme difficile. Pour les deux exemples, le travail de restitution graphique est le même, le temps de travail sur le terrain est le même, mais on voit que les informations collectées sur 600 km<sup>2</sup> de territoire sont plus précises que celles récoltées sur 10 000 km<sup>2</sup>.

Classiquement, on distingue les cartes pouvant servir sur le terrain et les cartes destinées à des travaux scientifiques de laboratoire : les cartes de terrain ne peuvent guère être établies à une échelle plus petite que le 1/500 000 (mais si le fond topographique est très précis, il est possible d'utiliser le 1/1 000 000) ; en fait, les échelles les plus couramment utilisées pour ce type de carte sont le 1/50 000, le 1/200 000, le 1/500 000.

Les cartes qui n'ont pas vocation à servir directement sur le terrain sont en général réalisées à des échelles plus petites : 1/1 000 000, 1/2 000 000, 1/5 000 000... Ces cartes sont des documents de synthèse, elles empruntent leurs données aux cartes de terrain mais en les transformant pour en tirer des informations présentées de façon homogène, simplifiée, coordonnée. Elles peuvent ne retenir que certains éléments des cartes de terrain ou en inférer d'autres qui n'apparaissent pas *ipso facto*. Elles ont l'avantage de traiter des phénomènes géologiques à l'échelle d'un pays tout entier et même d'un continent. La réflexion provoquée par ce type de document éclaire en retour les cartes de terrain, qui sont incapables de saisir dans leur unité les phénomènes géologiques concernant de vastes surfaces de territoire, porteurs des conditionnements majeurs de la croûte terrestre.

Le problème du choix de l'échelle de la cartographie géologique est donc un problème majeur : faut-il commencer une cartographie systématique par de grandes échelles (1/50 000 par exemple) ou de plus petites (1/200 000, 1/500 000) ?

Citons un exemple : la cartographie *régulière* \* à 1/200 000 d'un degré carré (soit approximativement 10 000 kilomètres carrés) en zone moyennement difficile tant sur le plan de la pénétration que sur celui de la géologie, dans une région comme celle de l'Ouest africain, revient actuellement à quatre millions de francs français. Pour la même somme, à la même échelle et dans une région identique, on peut obtenir une bonne carte géologique dont la qualité se situe à mi-distance de la carte de reconnaissance et de la carte régulière, mais qui couvrira quatre à cinq fois plus de surface et qui en outre aura pu être accompagnée, lors de son levé, de travaux de reconnaissance minière. Dans ce cas, que doit-on choisir ? La réponse n'est pas simple. Il est nécessaire d'avoir de bonnes cartes résultant de travaux géologiques très poussés : ce sont ces sortes de travaux qui débrouillent et éclairent l'histoire géologique d'une région, mais ils sont longs et coûteux. Il est aussi nécessaire d'aller vite et pour le moins d'argent possible si une chance raisonnable de développement peut être atteinte par ce biais. Les deux sortes de documents restent en définitive nécessaires : cartes régulières dans les aires démonstratives, cartes allégées ailleurs.

## 2.2. Les cartes géologiques classiques

Les cartes géologiques classiques, utilisables sur le terrain, peuvent être classées en deux catégories principales :

a) Les cartes géologiques régulières : on entend par cette dénomination une carte qui s'insère dans le cadre d'un découpage régulier d'un territoire national et dont la densité des levés, en général importante, est similaire à celle de toutes les autres cartes de ce découpage. Exemple : le 1/200 000 avec une densité de 3 kilomètres linéaires de levés pour 10 kilomètres carrés de surface.

Les échelles adoptées pour ce genre de carte sont : 1/25 000 (Belgique, Luxembourg) ; 1/50 000 (France, Israël, Japon, etc.) ; 1/100 000 (Burundi, Djibouti, Madagascar, Mexique, Colombie...) ; 1/200 000 (Tchécoslovaquie, Argentine, Sénégal, Côte d'Ivoire, Japon...).

b) Les cartes d'exploration et de reconnaissance : ce sont des cartes à échelles moyennes (1/200 000, 1/500 000) et petites (1/1 000 000, 1/2 000 000) qui couvrent un Etat tout entier ou une partie d'un Etat et qui ont été rédigées à partir d'observations moins nombreuses. Une partie des contours doit être considérée comme extrapolée (c'est-à-dire que leur tracé n'est pas absolument

certain bien que la photogéologie permette, à l'heure actuelle, des extrapolations relativement précises). Ces cartes sont généralement le résultat de travaux préliminaires à des recherches plus systématiques, « l'avant-propos », en quelque sorte, de cartographies régulières et systématiques du territoire.

Nous ne citerons que pour mémoire ici les *cartes de synthèse* géologique et tectonique à très petites échelles (1/10 000 000, 1/5 000 000), qui sortent de notre propos.

L'utilisation de toutes ces cartes est très variée. D'autres disciplines scientifiques ou techniques y ont recours : pédologie, agronomie, géographie, travaux publics, recherches minières, etc. Mais une des utilisations à ne pas oublier est celle de la géologie elle-même : une carte géologique est faite pour inciter à d'autres travaux et en fin de compte pour être révisée lorsque les progrès des connaissances générales et locales l'exigent et le rendent possible.

### 3. MAITRISE ET UTILISATION DE L'INFORMATION

Divers dangers guettent l'utilisateur de la carte géologique : le premier serait de croire que, face à un objet d'étude aussi immuable à l'échelle humaine, et sa cartographie ayant été faite, il n'y a plus lieu d'y revenir. Or, la carte géologique exige périodiquement des révisions en fonction des progrès de la géologie elle-même.

Le second danger serait de croire que la carte géologique, production scientifique aussi objective que possible, peut être appliquée telle quelle à la résolution de tous les problèmes qui exigent son usage. En fait, les besoins des utilisateurs sont très divers : prospecteurs, pédologues, agronomes, géographes, géotechniciens trouvent là un document qui peut ne pas être adapté à leur demande ; il leur faut alors « revenir aux sources » et parfois cartographier de nouveau, avec d'autres moyens et à une autre échelle, les thèmes géologiques de la région étudiée.

On perçoit donc qu'il peut y avoir inadéquation entre le document cartographique en tant que tel et les possibilités de la discipline scientifique qui a permis de l'établir ; en d'autres termes, les objectifs qui ont prévalu lors de la cartographie conditionnent la nature même du document obtenu.

La maîtrise de l'information géologique de base et son utilisation à des fins d'exploitation ou d'aménagement de l'espace ont produit ainsi une série de documents cartographiques spécialisés :

- les cartes de formations superficielles et les cartes géologiques de la période quaternaire ;
- les cartes des formations marines : cartes sédimentologiques (Manche, plate-forme du Sénégal), cartes des marges continentales (Brésil) ;
- les cartes géotechniques qui, à partir des cartes géologiques classiques, montrent la nature des terrains affleurants et renseignent l'ingénieur des travaux publics sur les sites et matériaux en vue de la construction de routes, barrages, ponts, etc. Dans cette catégorie, citons les cartes de géologie urbaine ;
- les cartes de portance des sols et les cartes de constructibilité des sols, qui indiquent la résistance à la déformation sous le poids des constructions ;
- les cartes *Zermos* (zones exposées aux risques des mouvements du sous-sol) sont établies à grande échelle (1/10 000, 1/25 000) sur les régions où les effondrements et les glissements de terrain sont à craindre (zones montagneuses) ;
- les cartes géochimiques, cartes à vocation minière dressées par certains services géologiques comme celui du Canada ; elles notent, sur un fond géologique simplifié, les teneurs de certains éléments chimiques analysés dans les sédiments des cours d'eau ; les anomalies relevées peuvent orienter les recherches minières ultérieures ;
- les cartes géophysiques : cartes gravimétriques, magnétiques, électromagnétiques, sismiques, etc.

L'importance du *fait minier* dans les perspectives de développement nous conduit à traiter plus largement les cartes minières, les cartes des gîtes minéraux et les cartes métallogéniques. Toutes sont fondées sur la mise en évidence des richesses du sous-sol.

Les cartes minières ne représentent que les exploitations actuelles ou passées.

Les cartes des gîtes minéraux insèrent dans un cadre géologique simplifié les gisements exploités, mais aussi tous les indices miniers repérés, et classent ces occurrences en fonction de leur nature et de leur importance.

Les cartes métallogéniques sont des cartes de synthèse (à petite échelle, par conséquent) qui combinent la carte géologique, la carte tectonique et la carte des gîtes minéraux. Elles s'efforcent de traduire graphiquement les « provinces minérales » et exposent des notions prévisionnelles destinées à orienter les recherches minières.

Enfin, une place à part doit être faite aux travaux cartographiques réalisés dans le domaine de l'*hydrogéologie*, dont la maîtrise et l'utilisation se révèlent chaque jour plus importantes dans les politiques de développement en général, dans la politique de satisfaction des besoins, en particulier des pays secs et même des pays bien arrosés.

Rédigées à partir des cartes géologiques classiques et de travaux supplémentaires spécialisés tels que les sondages, les cartes hydrogéologiques mettent en évidence les ressources en eaux souterraines. Dans le monde entier, l'énorme accroissement des besoins en eau a conduit à la prise de conscience que les ressources en eau et particulièrement les ressources en eaux souterraines, ne sont pas inépuisables et que ces eaux sont de plus en plus à la merci d'une pollution risquant de les rendre inutilisables.

L'hydrogéologie dont le rôle, autrefois, se réduisait le plus souvent à la prospection de nappes et à l'implantation de captages, se trouve ainsi confrontée de plus en plus à des problèmes d'évaluation des ressources et d'économie d'exploitation. L'hydrogéologue doit définir un réservoir d'eau souterraine par ses caractères physiques (extension, épaisseur, limites) et par les paramètres qui commandent la circulation de l'eau dès l'instant où elle s'infiltré jusqu'à sa sortie du système aquifère. A cela s'ajoute l'étude de la chimie des eaux qui, outre son rôle descriptif et qualitatif, intervient comme moyen de connaissance de la dynamique et de la cinématique des nappes par l'utilisation de marqueurs artificiels ou naturels.

La synthèse des informations acquises par toutes ces techniques, sans cesse en voie d'amélioration, trouve son expression dans la cartographie hydrogéologique, de manière à rendre plus accessible le maximum de renseignements utiles. Les besoins croissants d'information sur les données relatives aux eaux naturelles exigent que soient fournis des documents élaborés, interprétés et directement utilisables pour gérer les ressources de manière rationnelle : la cartographie tient là une place éminente comme mode de représentation.

Il faut souligner que la cartographie hydrogéologique doit être précédée d'une somme importante d'études documentaires ou de terrain : exploration et prospection hydrogéologique détaillée sur le terrain, comportant l'exploitation des documents géologiques et géographiques disponibles (cartes, coupes de forages...), inventaire des points d'eau et observations hydrologiques qualitatives, levés piézométriques et hydrochimiques, recensement des exploitations et des risques de pollution des eaux souterraines, etc.

De telles études doivent généralement porter sur une surface beaucoup plus grande que celle directement concernée par l'opération, en raison de contraintes stratigraphiques et tectoniques qui font que le bassin d'alimentation de certaines nappes peut être très étendu et éloigné du point de prélèvement.

Il ne faut pas cacher non plus que ces études, précédant la cartographie hydrogéologique, sont longues car elles exigent un grand nombre de mesures étalées dans le temps, ne serait-ce que pour connaître les variations saisonnières ou annuelles des nappes d'eau souterraines.

A partir de telles données, il est possible d'établir des cartes générales ou spécialisées en fonction des buts à atteindre, par exemple :

- carte de la piézométrie ;
- cartes géohydrodynamiques des systèmes aquifères ;
- cartographie quantitative de l'écoulement total et souterrain (cartes du débit moyen des nappes, par exemple) ;
- cartes de la productivité des ouvrages d'exploitation et des coûts de production de l'eau souterraine ;
- cartes des ressources potentielles en eau ;
- cartes hydrogéochimiques, qualité des eaux en fonction des divers usages, appréciation des aptitudes d'utilisation ;
- cartes de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.

Cette liste n'est pas exhaustive, chaque objectif et étude hydrogéologique faisant appel à une cartographie particulière, à une échelle donnée. Il est donc très important, au départ, de fixer et de définir sans ambiguïté ces objectifs qui peuvent être (entre autres) :

- évaluation a priori des ressources en eau souterraine d'une région, d'un bassin ;
- alimentation en eau potable, urbaine ou rurale ;
- alimentation d'une industrie ;
- irrigation par pompage ;
- point d'eau d'abreuvement (eau pastorale) ;
- exploitation de nappe aquifère profonde à eau chaude pour la production d'énergie géothermique, etc.

## FICHE TECHNIQUE

Deux exemples sont présentés ici ; ils illustrent deux types de cartes géologiques bien différents par leur contenu, leur objectif et leur présentation.

### 1. CARTE GÉOLOGIQUE COMMUNE AU TOGO ET AU BÉNIN, 1/200 000, Conseil de l'Entente-BRGM, 1978, notice de 71 p.

Carte extraite du rapport : « Notice explicative des cartes géologiques à 1/200 000 de la République du Togo et de la République populaire du Bénin entre le 9° et le 10° degré de latitude nord », 78 RDM 055 AF, BNRM, BRGM, OBEMIN.

Reproduit avec l'autorisation de la Direction Générale des Mines et de la Géologie, Bureau National de Recherches Minières, Lomé, Togo.

#### 1.1. PRÉSENTATION :

La carte couvre 36 000 kilomètres carrés, soit environ trois degrés carrés. Elle est présentée en deux feuilles noir et blanc, reproduites par procédé diazoïque. L'illustration présentée ici a été coloriée à la main.

L'exécution de la carte a demandé un an et coûté environ 2,2 millions de francs. Cinq géologues ont participé à l'opération : G. Hottin, P. Lasserre, P. Vincent (Bureau de Recherches Géologiques et Minières, France), T. Lawson (Bureau National de Recherches Minières de la République du Togo), P. Affaton (Office Béninois des Mines).

L'élaboration de la carte a comporté les phases suivantes :

- rassemblement et étude de toute la documentation existante et en particulier des cartes antérieures : travaux des géologues depuis 1910, cartes géologiques et cartes géologiques de reconnaissance, carte aéromagnétique, cartes pédologiques et cartes pédologiques de reconnaissance à toutes les échelles ;
- deux mois de photogéologie au stéréoscope à miroir, effectuée à partir de la couverture aérienne à 1/50 000 ; la photogéologie a mis en évidence les grandes lignes structurales de la région, les résultats ont été transcrits à 1/200 000 et utilisés lors des levés de terrain et des travaux de dessin de la carte ;
- réinterprétation des levés aéromagnétiques par un physicien (durée : quinze jours) ;
- les travaux de terrain se sont déroulés pendant cinq mois : ils ont consisté en l'examen de quelques coupes-types implantées d'après les résultats des études précédentes dans les secteurs les plus récemment étudiés ; des levés systématiques ont ensuite été pratiqués avec une densité moyenne de un kilomètre linéaire de levé par dix kilomètres carrés. Les itinéraires ont été choisis de façon à couper perpendiculairement les structures, c'est-à-dire en général suivant la direction est-ouest ; distances parcourues : 4 400 km en voiture, 780 km en vélomoteur, 440 km à pied, soit 5 620 km ;
- 40 échantillons ont été analysés pour la détermination des âges radiométriques des formations lithologiques (analyses effectuées par le Laboratoire de Géochronologie du CNRS de Clermont-Ferrand, France). 750 échantillons ont été récoltés et 540 lames minces ont été étudiées au microscope ;
- les travaux de bureau et de dessin ont été effectués au BRGM à Orléans (France) pendant deux mois : élaboration de la maquette définitive des deux feuilles de la carte, prévision des couleurs ;
- enfin, rédaction d'une notice explicative de 71 pages ; indispensable à la lecture et à l'utilisation de la carte, la notice détaille les travaux antérieurs, décrit les diverses formations géologiques et en reconstitue l'histoire ; un chapitre important est consacré à la description des indices miniers rencontrés ainsi qu'à la potentialité minière des formations géologiques.

La carte géologique commune au Togo et au Bénin doit servir de base à une meilleure connaissance de l'ensemble de la zone mobile Togo-Bénin. Elle constitue une nouvelle étape vers la couverture géologique complète en coupures régulières à 1/200 000.

Les renseignements tirés de cette opération permettent de mieux situer le contexte géographique local et régional des indices minéralisés et de définir les orientations de recherches minières suivant les potentialités des diverses unités.

#### 1.2. ILLUSTRATION :

Extrait de la feuille Bassari-Djougou, centré sur la ville de Sara-Kawa et le confluent de la Kara et de la Kawa, République du Togo. Sara-Kawa est située à 20 km au nord-ouest de la ville de Lama-Kara.

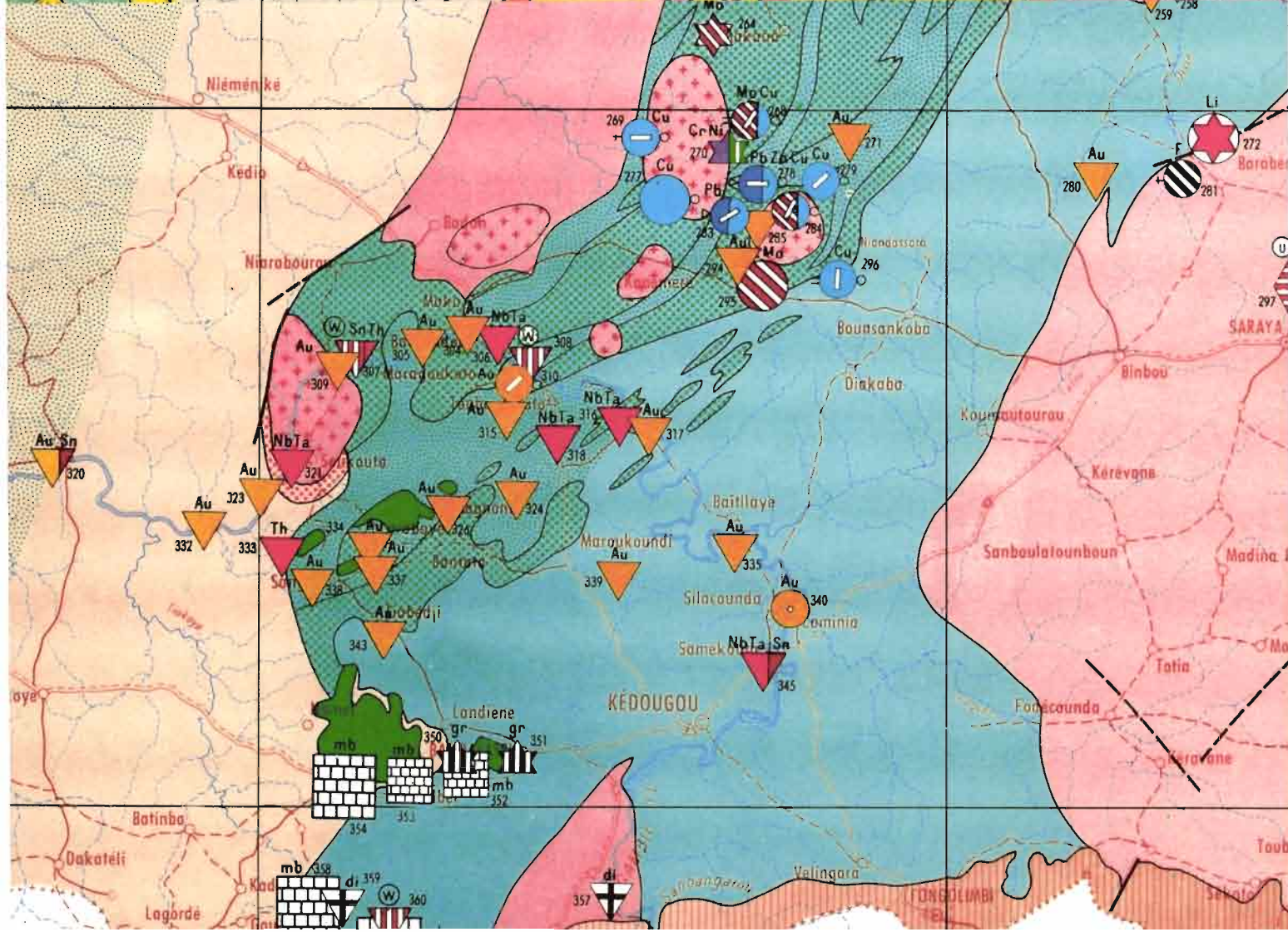
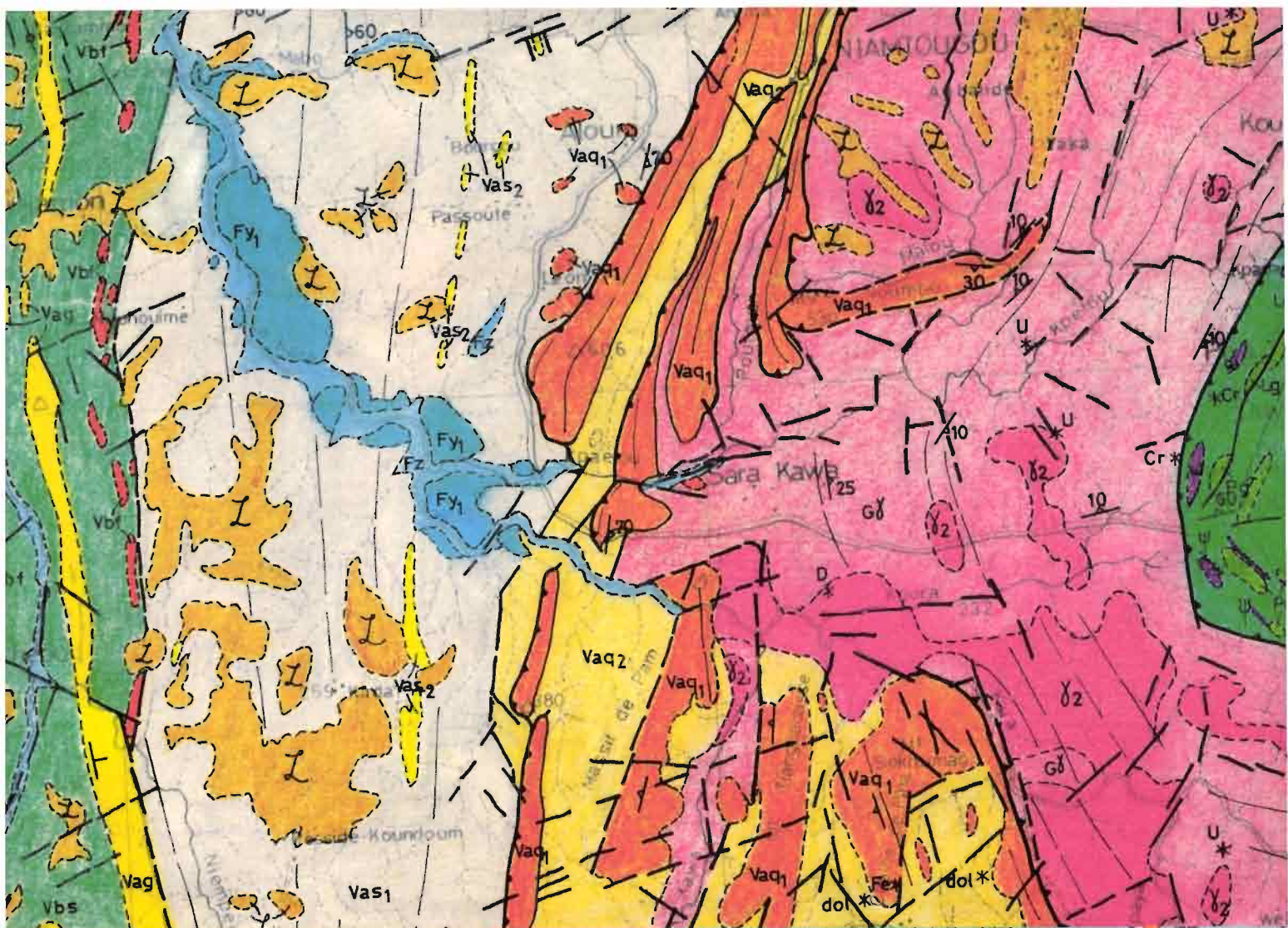
Le territoire figuré ici mesure environ 42 x 30 km, soit 1 260 km<sup>2</sup>.

Chaque couleur de la carte correspond à un sigle (VA Va<sub>q1</sub>, Fy<sub>1</sub>, Vbf...) qui définit, dans ses limites et dans son contenu, une unité géologique cartographiée. Signification et contenu détaillé sont précisés dans la légende de la carte et surtout dans la notice.

Le fond de carte est celui de la carte topographique à 1/200 000 de l'IGN, allégé. Les couleurs sont celles de la gamme conventionnelle des cartes géologiques. Comme le document cartographique est reproduit en noir uniquement sur fond blanc, les couleurs ont été placées à la main.

Le résultat est un document lisible, de fabrication coûteuse car sa mise en œuvre implique des investissements scientifiques considérables, mais sa reproduction, donc sa disponibilité, est très aisée et très bon marché.







**2. CARTE DES GÎTES MINÉRAUX DE LA RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL, © BRGM, 1/500 000, par F. Permingeat, J. Sagatsky et M. Bolgarsky, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans (France), 1965.**

Reproduit avec l'autorisation de la Direction des Mines et de la Géologie, Dakar, Sénégal.

**2.1. PRÉSENTATION :**

Cette carte est livrée en 4 feuilles format 50 x 70 cm, couvrant la totalité du territoire sénégalais, mais seuls les secteurs intéressants du point de vue minéralogique sont traités : côte atlantique de la Mauritanie à la Guinée Bissau, arrière-pays entre Dakar et Saint-Louis, rive gauche du fleuve Sénégal, région du Sénégal Oriental.

La carte est tracée sur fond topographique à 1/500 000 de l'IGN (annexe de Dakar), allégé : on n'a conservé que l'hydrographie et la figuration des lieux habités et des principales voies de communication.

Les formations géologiques sont identifiées par des plages de couleurs, associées ou non à une trame ; les gîtes minéraux sont identifiés par un signe dont la forme (cercle, triangle, losange, etc.) indique la forme du gîte (filon, strate, forme indéterminée...) et dont la couleur indique la nature minérale (amiante, galène, or natif), complétée par le symbole chimique de l'élément.

L'importance du gîte est suggérée par la taille du signe (gros gisement, gisement moyen, indices appelant des travaux, indices mal connus).

La carte est complétée par un *fichier* détaillé. Le numéro porté à côté de chaque signe de la carte renvoie à la référence correspondante du fichier.

**2.2. ILLUSTRATION :**

Extrait de la feuille sud-est, région de Kédougou (Sénégal Oriental). Le territoire cartographié mesure environ 105 x 75 km, soit une surface de 7 875 km<sup>2</sup>.

La plupart des gîtes minéraux figurés ici se présentent sous forme alluvionnaire ou éluvionnaire (triangles) et filonienne (cercles). Ce sont des gisements de troisième importance (indices appelant des travaux de recherche relativement importants ou justifiant une exploitation de type artisanal).

Le socle précambrien est figuré en vert, les granites en rose. Les granites ont ramoné les séries du socle et concentré l'or, le molybdène, le cuivre, le plomb, etc. Y sont associés des gîtes pegmatitiques à niobium, tantale, zinc, tungstène et lithium, du graphite. A la périphérie de cette zone de forte concentration des gîtes, on trouve des indices d'or et d'étain dans les alluvions de la Gambie.

**3. DISPONIBILITÉ DES DEUX EXEMPLES**

Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
Boîte Postale 6009  
54060 ORLÉANS Cedex (FRANCE)

## Chapitre 3

# La pédologie

Si la notion de sol est fort ancienne, la pédologie, science qui en étudie les caractères, l'évolution et la répartition à la surface de la terre, n'est apparue qu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle en Russie. Depuis lors, la principale tâche des pédologues a été d'*analyser* l'organisation du sol et d'en *inventorier* les types et les processus de formation. Ce travail a mobilisé pendant longtemps les pédologues, qui ont délaissé l'aspect « fonctionnement » du sol, davantage caractérisé par des propriétés mécaniques, hydro-dynamiques, chimiques et physico-chimiques. De cette démarche, plus orientée vers la pédogénèse que vers le comportement du sol, a résulté un langage pédologique très conceptualisé, difficile à comprendre par le non-pédologue.

Un processus de formation n'est pas un objet mais une dynamique résultant d'un ensemble de mécanismes et qui ne peut être dissociée du *fonctionnement* du sol que si elle est mal comprise. L'analyse et l'inventaire des processus de formation sont donc obligatoirement ceux du fonctionnement des sols. La démarche dite conceptuelle est en fait une déviation née du poids exagéré pris par la classification à l'égard d'une inévitable connaissance des processus de formation. Au lieu d'être un outil, la classification est devenue une fin en soi. On est en fait moins préoccupé de connaître réellement le sol que de le placer dans une case de la classification, c'est-à-dire d'assimiler rapidement ses caractères à des processus de formation codifiés par la classification.

Mais ceci peut s'expliquer par une double complexité :

- complexité de l'objet sol d'une part, dont il est difficile d'appréhender la réalité : celle-ci doit être saisie dans un espace à quatre dimensions (y compris le temps), mais nos moyens d'observation et de mesure sont insuffisants pour apprécier des variations dont l'échelle est inconnue et diffère souvent de celle de l'observation ;
- complexité de la restitution cartographique en deux dimensions de cette réalité : pour y remédier, on a fabriqué des concepts intégrant deux des dimensions pédologiques (la profondeur et la durée).

Ainsi, *la démarche cartographique* en pédologie a-t-elle été surtout orientée vers une *compréhension* de l'organisation des *unités pédologiques*, la démarche du pédologue étant guidée généralement par une logique d'extrapolation.

Cependant, avec le développement des techniques informatiques, les pédologues doivent formaliser leur démarche. Il devient possible de restituer l'information sous forme de cartes par interpolation/modélisation et d'utiliser ensuite cette carte pour comprendre l'organisation des sols.

## 1. SAISIE DE L'INFORMATION

### 1.1. La nature de l'information pédologique

Comprendre l'organisation des sols dans le paysage, c'est *déterminer* et *expliquer* leur répartition. Pour le pédologue, il est important d'appréhender les principaux *facteurs de différenciation* des sols — climat, végétation, géologie, géomorphologie — ainsi que leurs principaux caractères.

La démarche utilisée a fréquemment tendance à aller du général au particulier, de l'organisation du paysage à l'organisation du sol. Le pédologue intègre donc des approches à différents niveaux, de la photographie aérienne à la microscopie.

Pour ce faire, il est amené à opérer une *première sélection* des informations à recueillir. Cette sélection dépend avant tout de la connaissance qu'a le pédologue de la région qu'il cartographie et des objectifs de cette cartographie ; elle porte sur les variables qu'il considère explicatives de l'organisation de la couverture pédologique ou d'un phénomène particulier.

Les informations sont saisies sur le terrain, au laboratoire, sur les photographies aériennes, sur les images de télédétection spatiale et dans les documents antérieurement rédigés, quand il en existe.

Le tableau 1 précise les modes d'exploitation de ces différentes sources d'information.

Pour le compléter, plusieurs remarques peuvent être faites :

- les observations sur le terrain sont, dans la mesure du possible, rendues *homogènes* et objectives par l'utilisation de *codes* : les couleurs des horizons d'un sol sont identifiées au moyen d'une charte (charte Mundsell), les autres paramètres par des glossaires ;
- il est souvent très difficile d'observer des variations dans trois dimensions. L'unité d'observation est généralement le *profil\**, c'est-à-dire une des faces verticales de la fosse creusée. Un profil est organisé en différents *horizons\** dont ont décrit la succession en profondeur ainsi que les principaux caractères ;
- les tests de comportement des sols sont utilisés principalement pour caractériser les propriétés physiques, mécaniques et hydriques des sols : stabilité, perméabilité, plasticité... ;
- les observations au microscope exigent une préparation longue et délicate ; elles sont peu utilisées.

### 1.2. L'échelle de la carte et la quantité d'information saisie

Il est théoriquement possible de représenter n'importe quelle information à n'importe quelle échelle, mais en pratique l'ensemble des informations recueillies sur le terrain est lié à l'échelle prévue de la carte, souvent fixée par contrat : la quantité d'information saisie résulte donc généralement d'un compromis entre le temps imparti au pédologue pour réaliser la carte, la nécessité de comprendre l'organisation des sols et la nécessité de rédiger une carte pourvue d'une précision suffisante à l'échelle choisie.

Ce critère de précision graphique n'est pas facile à choisir. Boulaine (1), reprenant une loi utilisée en cartographie, préconise quatre sondages par centimètre carré de carte. Néanmoins, le même auteur signale que cette densité peut être réduite quand le pédologue dégage de ses observations des lois régissant l'organisation des sols dans le paysage. Cette *méthode par extrapolation* présente l'avantage d'être rapide et donc économique lorsque le pédologue a au préalable une bonne connaissance du terrain. Mais elle ne permet pas d'apprécier la *variabilité* des caractères des sols, la densité des sondages étant hétérogène.

Les récentes applications de techniques informatiques à la pédologie ont demandé aux pédologues d'explicitier leurs concepts, leurs modes de raisonnement. Elles permettent de cartographier automatiquement par différentes méthodes d'interpolation et de modélisation. Elles montrent l'intérêt d'une saisie des données plus systématique qui permet d'apprécier la variabilité des caractères des sols et de définir de façon précise les notions d'unité cartographique et de limite.

Considérant ces différentes possibilités de saisie, il est difficile de préciser les relations existant entre échelle d'une carte et quantité d'information saisie. Il est souhaitable que le pédologue précise cette quantité d'information (nombre de sondages, localisation, nombre de variables recueillies) et la méthode utilisée (méthode par extrapolation, par interpolation, règles).

(1) Cf. J. BOULAIN, 1966.

**Tableau 1**

**ORIGINE ET NATURE DES INFORMATIONS**

	Informations recueillies	Moyens	Buts
Documents élaborés : Recherches, rapports préexistants.	Informations générales sur le territoire.	Compilation, dépouillement des documents.	Préparer le travail puis aider à interpréter les données.
Documents bruts : – télédétection aérienne et spatiale ; – cartes topographiques.	Étendue et homogénéité de différentes zones ; Localisation des observations.	Interprétation de photographies aériennes (coupes stéréoscopiques) et d'images satellite. Examen de cartes topographiques.	Analyser le paysage. Localiser les observations. Déterminer des limites d'unités cartographiques en association avec les études de terrain.
Terrain	Paramètres de la constitution et de l'organisation des sols (épaisseur, couleur, texture, teneur en éléments grossiers, en matière organique ou tout autre élément observable, structure...). Paramètres du milieu (végétation, topographie, substrat géologique).	Observations de coupes, fosses, sondages. Description précise de l'organisation des différents horizons. Mesure éventuelle de paramètres (pH de l'eau).	Caractériser les sols et leur fonctionnement. Délimiter les unités. Formuler des certitudes sur les relations entre les sols, sur leur genèse et leur histoire.
Laboratoire	Paramètres de la constitution et du comportement des sols.	Analyses : granulométrie, teneur en éléments. Mesures : pH, salinité, etc. Tests de comportement : plasticité par exemple. Observations à la loupe binoculaire ou au microscope.	Comprendre l'organisation des sols au niveau de leur constitution. Caractériser les sols du point de vue physico-chimique, mécanique. Complément des études de terrain.

### 1.3. Le stockage de l'information

L'ensemble des informations recueillies doit être organisé afin d'être facilement accessible à une utilisation ultérieure. Pour cela, il est indispensable que leur acquisition soit faite de façon homogène : on utilise des fiches normalisées de description de sol associées à un glossaire qui définit la terminologie à employer.

Actuellement, les fiches sont conçues de façon à permettre le stockage informatisé des données, ce qui facilite leur traitement ultérieur.

### 1.4. Exemples de démarches de saisie de l'information

Les deux exemples ci-dessous montrent que la démarche de saisie de l'information varie en fonction de l'utilisation ultérieure de la carte.

#### a) La carte pédologique de reconnaissance de Haute-Volta (1)

Elle a été établie par l'Orstom pour répondre à l'insuffisance des informations disponibles et des difficultés d'implantation d'essais agronomiques. La carte pédologique de reconnaissance de la Haute-Volta ainsi que la carte dérivée des ressources en sols sont illustrées dans la Fiche Technique du présent chapitre.

Les pédologues ont procédé à un travail d'inventaire des types de sols, l'échelle à 1/500 000 de la carte ayant été choisie au préalable en tenant compte à la fois des délais souhaités par le gouvernement et de la nécessité de fournir une carte précise.

L'ensemble du pays a été méthodiquement prospecté ; aucune extrapolation n'a été faite à partir de régions précédemment cartographiées.

Les pédologues ont choisi leur itinéraire grâce à des photomontages à 1/200 000 ; c'est pourquoi les minutes ont d'abord été dressées à cette échelle puis réduites à 1/500 000. Le nombre de sondages a dépassé 3 000, soit 1 sondage pour 81 kilomètres carrés ; 0,3 sondage par centimètre carré de carte. En outre, près de 3 000 échantillons ont été analysés.

Pour ce travail d'inventaire, les informations recueillies ont surtout été celles qui permettent de classer les sols, concernant la génèse et la constitution des sols.

#### b) L'étude du terroir de Mogtédo (Haute-Volta) (2)

Elle offre un exemple de travail à une échelle plus grande (1/20 000).

Réalisée par l'IRAT, dans le cadre d'une opération de développement agricole intégrée à un plan d'éradication de l'onchocercose, elle avait comme objectif de fournir une carte localisant les terres cultivables pour de futurs villages ainsi que les emplacements les plus représentatifs du milieu pour l'implantation de parcelles d'expérimentation agronomique.

La pédologie est ici associée à d'autres disciplines : lithologie, géologie, géomorphologie ; la démarche est *pluridisciplinaire* et *descendante* : la compréhension de la pédogénèse se fait à partir de la compréhension de l'évolution du paysage.

Par ailleurs, cette démarche est intégrée directement à un programme de développement précis : les caractères essentiels d'un aménagement étant de modifier le milieu, la saisie et l'interprétation des informations sont tournées vers la compréhension du *comportement* et de la *dynamique* des sols.

## 2. RESTITUTION DES DONNÉES

### 2.1. Synthèse ou analyse ?

Les différentes démarches de saisie induisent différentes démarches de restitution. Schématiquement, les approches peuvent être de deux types :

a) Approche par *synthèse* : le pédologue raisonne et restitue les données en termes de sols « modèles » (« sol brun vertique », « sol ferrallitique », par exemple). L'intérêt de cette démarche

(1) Carte pédologique de reconnaissance de Haute-Volta, 1/500 000, sous la direction de R. BOULET, Orstom, Paris, 1968-1973.

(2) J. TEISSIER, 1974 : Le terroir de Mogtédo (Haute-Volta), étude morphopédologique en vue de la mise en valeur des terres, *L'Agronomie Tropicale*, XXIX, n° 2-3, p. 312-363.

tient au fait que les concepts utilisés intègrent plusieurs dimensions : la profondeur (à un sol modèle correspond une séquence et une épaisseur des différents horizons), le temps (les termes utilisés font généralement référence à une évolution du sol, à un processus de formation).

Telle est par exemple la démarche pédogénétique. Après restitution, les données brutes sont contenues de façon implicite dans la carte et de façon plus explicite dans la notice.

Les cartes ainsi dressées sont difficiles à lire par l'utilisateur non pédologue.

b) Approche par *analyse* : le pédologue peut aussi intégrer une quantité d'information plus restreinte dans ses concepts. Il peut restituer uniquement des données concernant certains *caractères* de la constitution ou de l'organisation des sols. Actuellement, on a, par exemple, tendance à raisonner au niveau de l'horizon — le sol est conçu davantage comme une séquence d'horizons que comme une entité. Des restitutions cartographiques ont été adaptées à cette démarche (cartes d'isoprofondeur des horizons par exemple) et utilisées pour le traitement de problèmes précis liés à l'aménagement tels que salinité, pierrosité, hydromorphie. Elles présentent également l'avantage d'être plus facilement lisibles par des non-pédologues.

## 2.2. Dénomination des unités cartographiques

### a) Classification et typologie

Toute classification procède d'une hiérarchisation de critères différenciant les objets étudiés. Les critères retenus par les pédologues sont :

- les facteurs de la pédogénèse : le milieu (principalement climat et géologie) et les processus physico-chimiques (podzolisation, ferraltilisation) ;
- les caractères propres des sols (horizons-diagnostic (1), épaisseur, texture, constitution de ces horizons).

Les classifications existantes diffèrent dans la façon dont elles prennent en compte ces critères. On distingue des classifications ascendantes et des classifications descendantes.

*Les classifications ascendantes* sont celles qui opèrent par *regroupement* de taxons\* en commençant par les taxons inférieurs, les *séries*. Cette méthode procède d'une démarche par analyse (cf. § 2.1.) : ce sont les caractères d'horizons-diagnostic qui constituent le critère principal différenciant les sols. Telles sont les classifications des États-Unis (*soil taxonomy*) et de la FAO.

*Les classifications descendantes* sont celles qui définissent en premier lieu les taxons d'ordre supérieur (*classes* des sols) et découpent ensuite les taxons en sous-classes, groupes, sous-groupes, jusqu'à la série.

Les classifications de ce type sont plus ouvertes en ce sens qu'il est plus aisé d'y ajouter de nouvelles unités.

Cette méthode procède d'une démarche par synthèse (§ 2.1.) : telles sont par exemple les classifications russes et européennes.

Il est fréquent de voir le pédologue définir sa typologie des sols qu'il étudie et la prendre comme référence locale. Il est néanmoins souhaitable que cette typologie soit reliée à une classification.

Par ailleurs, la multiplicité des classifications rend difficile la communication entre pédologues. Aussi a-t-on tenté d'établir des correspondances entre classifications. Ces correspondances ne peuvent jamais être exactes : les critères choisis n'étant pas hiérarchisés de la même façon, elles ne sont que des approximations.

Un exemple en est donné dans le tableau 2, qui peut être complété par plusieurs remarques.

Selon la classification, le nombre des représentants du niveau le plus élevé est variable : la classification française comporte 12 classes de sols (sols ferrallitiques, vertisols...) ; la *soil taxonomy* comporte 10 ordres (oxisols, vertisols, alfisols...) dont on ne reprend que le préfixe (ox, ert, alf) dans la dénomination des taxons. La typologie FAO comporte, elle, 26 unités de sols (ferralsols, vertisols...). Cette variabilité illustre la difficulté de classification due à l'absence de coupure nette entre les sols ; la couverture pédologique est continue et on y trouve toutes les transitions. Pour en tenir compte, chaque classification a prévu des *groupes intergrades*.

L'unité la plus basse dans la hiérarchie est la *série* : c'est une partie de la couverture pédologique qui présente, sur un matériau originel de composition lithologique définie et dans des positions comparables dans un paysage, la même succession d'horizons.

(1) Horizon-diagnostic : horizon pédologique parfaitement caractérisé et caractéristique permettant d'identifier et de classer un sol avec certitude.

**Tableau 2**                    **EXEMPLE DE CORRESPONDANCES ENTRE CLASSIFICATIONS**  
(d'après *Soil Taxonomy* et J. Boulayne)

FAO Unités sous-unités	CLASSIFICATION FRANÇAISE CPCS 1967 Classe <i>sous-classe</i> groupe	SOIL TAXONOMY		
		groupe	sous ordre	ordre
Ferralsols plinthiques	– Sols à accumulation de fer en carapace ou cuirasse.	Plinth	aqu	ox
humiques	– Sols Ferrallitiques <i>moyennement désaturés</i> humifères – <i>fortement désaturés</i> humifères	Haplo Sombri Acro	hum	ox
aériques	– Sols Ferrallitiques <i>fortement désaturés</i> typiques	Acr Acr	orth ust	ox ox
rhodiques	– Sols Ferrallitiques <i>faiblement désaturés</i> typiques <i>moyennement désaturés</i> typiques (dérivés de roches basiques ou de calcaire)		orth ust	ox ox
xanthiques	– Sols Ferrallitiques <i>faiblement désaturés</i> typiques jaunes <i>moyennement désaturés</i> typiques jaunes		orth ust jaunes dans l'horizon oxique	ox ox
orthiques	– Autres sols Ferrallitiques <i>faiblement ou moyennement</i> <i>désaturés</i> typiques		autres orth ust	ox ox

*b) Disjonction cartographie-taxonomie*

La complexité de l'organisation de la couverture pédologique peut rendre dangereuse l'assimilation des unités cartographiques et des unités taxonomiques dans l'état actuel des connaissances. Il n'est que très rarement possible au pédologue d'affirmer que la limite qu'il trace sur une carte correspond à une transition entre deux taxons différents.

✓ Ainsi est-il souhaitable que la dénomination des unités cartographiques soit différente de celles des taxons que préconise la *soil taxonomy* et, en pratique, aux États-Unis, les unités sont dénommées par leur *localisation*, et la correspondance avec la classification est explicitée dans la notice.

### 2.3. Les unités pédologiques et leurs limites

Restituer des données cartographiquement consiste à établir des *limites* entre différentes *unités*. Sur les cartes pédologiques, il est souvent difficile de connaître la signification d'une limite car le pédologue raisonne davantage sur la nature des données pédologiques (contenu) que sur la nature des limites (contenant).

Or, sur une carte, les limites sont porteuses d'informations qui restent souvent non explicitées.

Dans le cas d'une approche par synthèse, la position de la limite est déterminée par l'interprétation des caractéristiques du milieu en termes de changement de la nature du sol.

Dans le cas d'une approche par analyse, la limite est identifiée en tant que telle : elle est porteuse d'une information explicite concernant les caractères du sol (changement de séquence d'horizons, de caractères diagnostics d'un phénomène précis tel l'hydromorphie). Sur la carte, il est même possible que l'essentiel de l'information soit porté par la limite (carte d'isoprofondeur des horizons, par exemple).

L'ensemble unité cartographique — limite a été dénommé *mappon\** en pédologie. Plusieurs types en ont été inventoriés :

- des *mappons* génétiques, qui sont la traduction d'une démarche axée sur la pédogénèse ;
- des *mappons* statistiques, qui résultent d'un regroupement de *pédons\** par une méthode d'interpolation ou de modélisation ;
- des *mappons* artificiels, dont les limites sont fixées a priori : les limites peuvent être celles du parcellaire ou celles obtenues par des systèmes automatisés (satellites) ;
- des *mappons* indirects, dont les limites sont fixées par des caractères liés de façon plus ou moins directe au sol (végétation, par exemple).

### 3. MAÎTRISE ET UTILISATION DES CARTES PÉDOLOGIQUES

Cartes et notices trouvent une utilisation dans l'aménagement des terrains, moyennant une *élaboration des données*. En effet, l'aménagement exige d'établir des priorités et pour cela il faut attribuer une *valeur* à certaines propriétés du sol. Mais cette valeur n'est pas un caractère intrinsèque du sol : elle est dépendante des conditions socio-économiques, des connaissances agronomiques et technologiques (1). Comme dans la saisie et la restitution des données, il y a plusieurs façons d'utiliser les cartes pédologiques ; les deux études présentées (§ 1.4.) en fournissent des exemples.

#### 3.1. La carte de reconnaissance des sols de Haute-Volta

De cette carte a été tirée une *carte de ressources en sols*. Pour cela une *valeur* a été attribuée à chacune des unités pédologiques en fonction de critères agronomiques et climatiques et en tenant compte des pratiques agricoles locales. Ainsi, les différentes unités ont-elles été traitées différemment suivant qu'elles étaient situées en zone sahélienne où l'élevage prédomine et dans les autres régions davantage mises en culture.

De même, le climat a-t-il été privilégié puisque la Haute-Volta est divisée en quatre zones agro-climatiques dans lesquelles les mêmes unités pédologiques n'ont pas les mêmes potentialités.

Enfin, par rapport aux productions végétales, neuf paramètres contraignants ont été retenus : la profondeur du sol, la texture des horizons superficiels, le drainage, l'économie actuelle de l'eau, la fertilité chimique, les carences, la présence d'éléments chimiques ou physiques défavorables et le taux de matière organique.

La carte des ressources en sols présente l'intérêt d'être très synthétique et de fournir rapidement des indications sur les améliorations, les adaptations possibles ou souhaitables des sols. Pour le planificateur, elle est donc simple à lire et à utiliser.

#### 3.2. La carte de la région de Mogtédou (Haute-Volta)

L'étude faite ici par l'IRAT précédait un plan d'aménagement de terroirs.

L'utilisation de la carte pédologique a été faite par des pédologues, des agronomes et des socio-économistes en deux étapes :

- traduction des données sous forme de *carte des contraintes* ;
- élaboration d'une *carte de proposition d'affectation des terrains*.

Cette démarche était justifiée par la volonté de dissocier au mieux les facteurs liés au sol, spécifiques du milieu physique, et les facteurs humains et technologiques susceptibles de varier beaucoup plus rapidement surtout après réalisation de l'aménagement. Les contraintes du milieu physique ont été ventilées dans trois catégories :

- contraintes édaphiques, liées à la constitution du sol ;
- contraintes hydriques ;
- contraintes morpho-dynamiques, traduisant les risques de dégradation du sol.

(1) Voir chapitre CARTES D'APTITUDES.



A partir de cette carte des contraintes et en tenant compte de l'aménagement envisagé, a été dressée une carte d'affectation des terrains, comportant trois volets :

- mise en valeur agricole des zones associant culture et élevage ;
- délimitation des zones réservées à l'élevage extensif ;
- reforestation.

La carte localise les ressources naturelles en termes d'objectifs d'aménagement, soit :

- la sélection des zones où les rendements de culture pourraient être multipliés par 2,5 ;
- le repérage des zones où l'élevage pourrait disposer de pâturages en saison humide comme en saison sèche ;
- l'identification des zones à mettre en défense et à repeupler en forêt.

Néanmoins, l'exploitation des terres affectées demeure liée principalement à l'état de développement des techniques et à la capacité de mobilisation de la force de travail spécifique à chaque société. Si le sol peut se révéler être un des principaux facteurs limitants à la mise en valeur d'un milieu, il est loin d'être le seul. Les cartes de ressources en sol comme les cartes d'affectation des terres doivent intégrer l'ensemble des facteurs de l'environnement physique, économique et humain ainsi que les contraintes à leur mise en œuvre. Encore une fois, le développement réclame la pluridisciplinarité de l'approche des problèmes d'aménagement.

## FICHE TECHNIQUE

Le chapitre sur les cartes pédologiques est illustré par deux exemples complémentaires : d'une part, la *carte pédologique de reconnaissance de la Haute-Volta*, d'autre part, la *carte des ressources en sols de la Haute-Volta*, rédigée d'après la précédente, à la même échelle.

### 1. CARTE PÉDOLOGIQUE DE RECONNAISSANCE DE LA HAUTE-VOLTA, 1/500 000, sous la direction de R. BOULET, Orstom, Paris, 1968-1973, © Orstom.

#### 1.1. PRÉSENTATION :

Carte en couleurs en cinq feuilles couvrant le territoire voltaïque tout entier, soit 275 000 km<sup>2</sup> environ. Format maximal des feuilles : 103 cm x 68 cm (1).

La carte pédologique de reconnaissance de Haute-Volta fait partie d'un ensemble de documents rédigés et cartographiés (2), destinés à dresser l'inventaire pédologique du territoire national aux fins de développement agricole et pastoral en mettant en évidence les différentes classes de sols. Notons qu'il s'agit d'une carte de *reconnaissance*, c'est-à-dire que ses auteurs considèrent que les données et les observations qui ont permis de la rédiger sont en nombre insuffisant pour obtenir une très grande précision.

Chaque planche porte la légende détaillée correspondant au territoire figuré et aux types de sols identifiés, ainsi que des cartons indiquant l'assemblage des cinq planches, éventuellement les secteurs géographiques traités par les différents auteurs.

Le fond de carte est léger ; il figure les axes hydrographiques, les voies de communication principales, les lieux habités les plus importants.

La carte est publiée en trois couleurs : noir (réservé au fond de carte et à la nomenclature), brun, vert.

#### 1.2. ILLUSTRATION :

Extrait de la feuille *Centre-Sud*, région de Garango à environ 120 kilomètres au sud-est de la capitale, Ouagadougou. Dimensions du territoire représenté : 105 x 70 km, soit 7 350 km<sup>2</sup>.

### 2. CARTE DE RESSOURCES EN SOLS DE LA HAUTE-VOLTA, carte des unités agronomiques déduite de la carte pédologique, 1/500 000, par R. BOULET et R. FAUCK, Orstom, 1976. Notice de 97 pages, © Orstom.

#### 2.1. PRÉSENTATION :

La carte de ressources en sols de la Haute-Volta est présentée en cinq planches correspondant chacune à celles de la carte pédologique de reconnaissance, même présentation, même échelle.

Elle couvre la totalité du territoire voltaïque, soit 275 000 km<sup>2</sup> environ. La plus grande planche mesure environ 102 x 80 cm. L'ensemble du document est présenté sous pochette contenant les cartes pliées et la notice.

Chaque planche cartographique est accompagnée d'une légende détaillée et d'un tableau des facteurs de fertilité des unités identifiées. Des cartons à petite échelle présentent le tableau d'assemblage des planches et le découpage du pays en zones agroclimatiques dont les limites sont figurées aussi sur la carte principale.

Le fond de carte est le même que celui de la carte pédologique de reconnaissance.

A l'intérieur de chaque zone agroclimatique, les unités cartographiées sont distinguées selon :

- la profondeur du sol,
- sa texture et sa constitution,
- ses caractères hydrodynamiques, chimiques et physiques,
- les types d'association de sols.

L'interprétation des unités est faite en termes d'utilisation potentielle (cultures sèches, cultures irriguées, pâturage) et en termes d'améliorations souhaitables (par les façons culturales, par drainage, par apports organiques, etc.).

La notice présente la carte et son mode d'utilisation, puis détaille les facteurs de fertilité, enfin énonce les principales caractéristiques des unités agronomiques identifiées et cartographiées.

(1) En raison du découpage géographique inégal et de la place variable occupée par les légendes, le format de chaque feuille est différent.

(2) Parmi lesquels une carte figurant les contraintes d'ordre sanitaire liées à l'onchocercose.

## 2.2. ILLUSTRATION :

Même région que précédemment (environs de Garango), à la même échelle (1/500 000). Dimensions du territoire représenté : 105 km x 70 km, soit 7 350 km<sup>2</sup>.

La région de Garango se trouve dans la zone agroclimatique *médiane* (entre 800 et 1 200 mm de pluviométrie annuelle moyenne).

Les sols de qualité convenable pour l'agriculture sont les plus colorés. Les couleurs de base sont :

- le brun pour les sols argilo-sableux en surface, argileux en profondeur ;
- le jaune foncé pour les sols à texture contrastée (argilo-sableux et sableux) ;
- le bleu pour les sols à drainage déficient ;
- le blanc pour les sols de faible valeur agricole.

Chaque unité agronomique est identifiée par un sigle (chiffres et lettres) qu'un tableau de concordance met en relation avec l'unité correspondante de la carte pédologique de reconnaissance.

C'est ainsi que l'unité cartographique 9' de la carte de ressources en sols (figurée ici en à-plat brun) possède les caractéristiques agronomiques suivantes : sols à profondeur variable, argilo-sableux à argileux en surface, argileux en profondeur, parfois graveleux ou gravillonnaires ; drainage interne souvent médiocre, structure moyenne à fine en surface ; modérément gonflants, forte capacité d'échange ; saturés (sols bruns eutrophes). Affleurements rocheux non dissociés.

L'indice g indique la présence d'une autre unité agronomique, l'unité 10'c.

Aux unités agronomiques 9' correspondent les unités pédologiques 28 et 30 de la carte pédologique de reconnaissance, dont les classifications sont les suivantes : sols à mulls des pays tropicaux, sols bruns eutrophes (1) vertiques sur matériaux argileux, parfois graveleux, issus de roches basiques ou neutres et lithosols sur roches basiques ou neutres.

Le tableau des facteurs de la fertilité de la carte des ressources en sols nous informe, toujours sur la même unité agronomique 9'g, de ses qualités et de son utilité : profondeur supérieure à 100 cm ; texture argileuse et argilo-sableuse ; drainage interne et externe libre, limité en profondeur ; économie actuelle de l'eau inconnue ; complexe absorbant de qualité moyenne ; carence en acide phosphorique ; pas d'éléments chimiques défavorables ; teneur en matière organique moyenne ; parmi les propriétés physiques défavorables, un contraste textural brutal entre les horizons A et B et la présence de nodules ferrugineux, mais pas sur toute l'étendue de l'unité concernée.

## 2.3. UTILISATION DE LA CARTE DE RESSOURCES EN SOLS :

Une telle carte peut être exploitée à divers niveaux, selon les objectifs et les besoins de l'utilisateur.

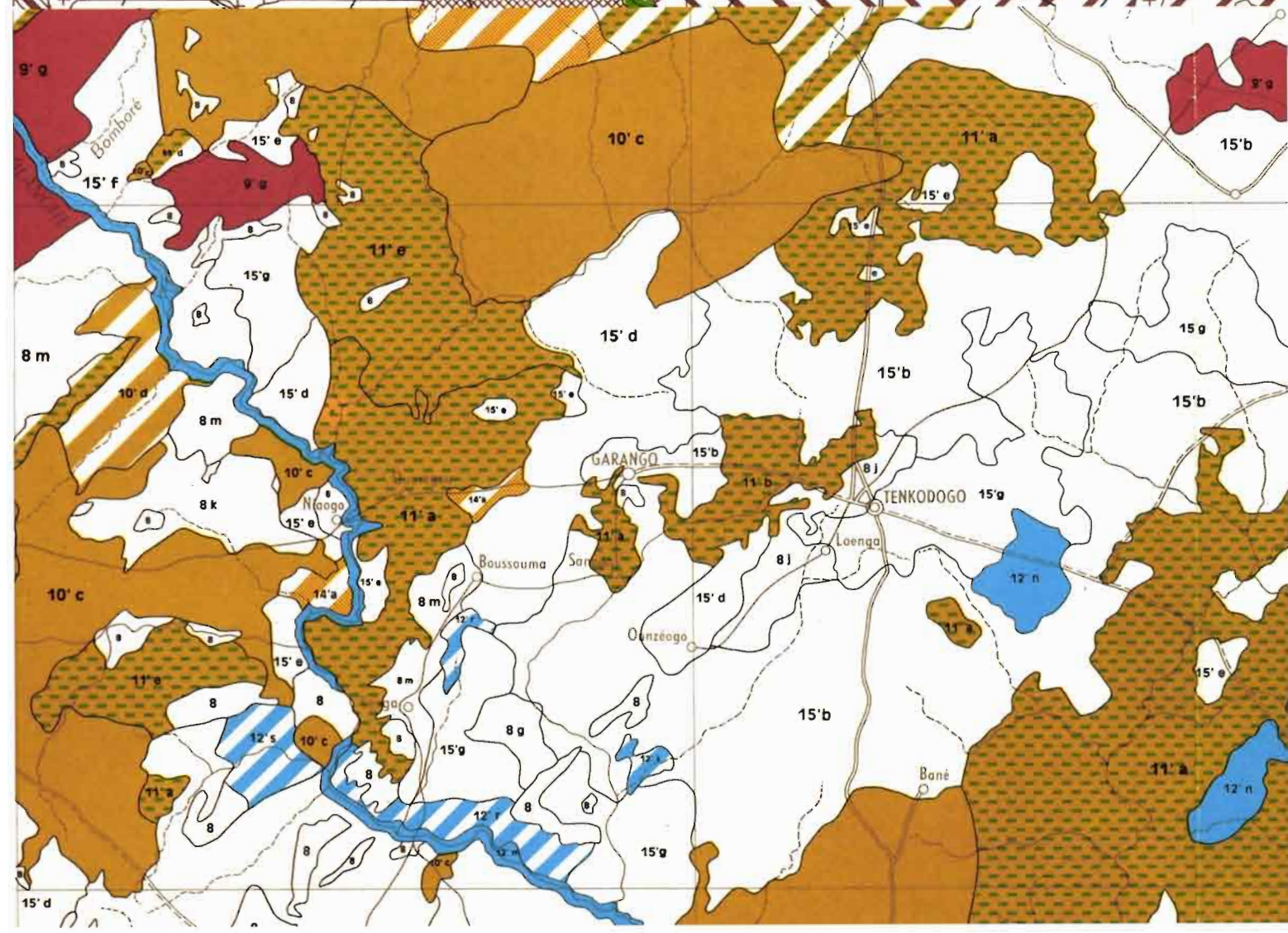
Une première lecture permet de sélectionner instantanément, d'après l'intensité de la couleur, les sols de qualité satisfaisante. On peut approfondir ensuite et rechercher les associations de sols puis le détail des facteurs de fertilité et les nuances, avec la seule légende d'abord puis avec la carte pédologique de reconnaissance et les notices de chacune des deux cartes, afin d'obtenir des qualifications et des détails de plus en plus précis et de plus en plus fins.

## 3. DISPONIBILITÉ DES DEUX CARTES

ORSTOM, Institut Français pour le Développement en Coopération, Services Scientifiques Centraux, Service Central de Documentation et de Diffusion : 70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY (France).

(1) Sol eutrophe : sol à pH neutre ou voisin de la neutralité ; du point de vue agronomique, sol bien équilibré.









## Chapitre 4

# Les cartes de végétation

Les cartes de végétation sont relativement nombreuses et de factures très diverses. Il existe en effet une multitude de façons de traiter la végétation : de *l'inventaire localisé des ressources végétales* (forestières, fourragères, etc.) à *l'approche phyto-écologique*, où la végétation fournit une expression synthétique de l'environnement physique (climat, sol) et humain, en passant par les *approches diachroniques*, qui cherchent à déterminer l'état et l'évolution du couvert végétal (dégradation, notamment).

On distinguera donc essentiellement deux méthodes d'approche du fait végétal :

a) La méthode d'inventaire, qui consiste à identifier les espèces végétales existantes dans un emplacement donné en notant leur fréquence. Les espèces sont chacune cartographiées ou bien groupées selon leurs modes d'association avec d'autres espèces. Une telle méthode vise à réaliser l'inventaire des ressources dont le planificateur a besoin pour calculer ses programmes de gestion et d'exploitation.

b) La méthode synthétique, écologique, qui consiste :

- à identifier les communautés végétales en termes de formations et associations végétales (c'est la sociologie végétale) ;
- à déterminer ensuite les conditions écologiques (l'ensemble des facteurs intervenant sur le complexe sol-plante) caractéristiques de chacune de ces communautés ;
- enfin, à cartographier les unités de végétation et les conditions écologiques qui leur sont liées.

C'est à partir du moment où sont connues et visualisées les relations entre végétation et environnement que la carte de végétation devient carte écologique.

Le territoire occupé par une unité de végétation sera considéré comme une *unité écologique homogène* et cartographié comme telle si les facteurs écologiques qui y sont compris varient à l'intérieur d'une fourchette de valeurs connues. Nous montrerons, dans le paragraphe 3, l'intérêt de cette approche synthétique pour une meilleure utilisation de l'information sur le fait végétal dans le cadre de la politique d'aménagement du territoire.

Pour le planificateur, les deux méthodes présentent un intérêt différent. La méthode d'inventaire des espèces utiles sert des objectifs immédiats de gestion et d'exploitation des ressources végétales. La méthode synthétique d'analyse des systèmes spontanés (1) vise davantage une politique de conservation et de rééquilibrage de l'environnement écologique considéré comme un élément fondamental de la reproduction de toute société.

### 1. SAISIE DE L'INFORMATION

La description botanique est à la base de toute lecture de la végétation, qu'il s'agisse de réaliser un inventaire, de mesurer une évolution ou encore de présenter l'écologie d'un milieu.

(1) C'est à dessein que nous utilisons le terme *spontané* plutôt que le terme *naturel* dont le sens est plus restreint et plus ambigu en botanique.

Pour cela les données les plus utilisées sont celles de la télédétection — aérienne et spatiale — bien que, le plus souvent, on ne dispose pas de couverture aérienne spécifique à la recherche phytosociologique.

La couverture aérienne « standard » permet cependant d'effectuer le recensement des espèces, de repérer les parcours d'observation de la végétation qui seront nécessaires pour identifier les espèces, leurs associations et les proportions d'association ; et surtout, elle détermine les aires d'extrapolation des données de terrain.

Il faut souligner d'autre part que la télédétection spatiale, par la répétitivité de la saisie des données et les vastes surfaces enregistrées à la fois, fournit une information de toute première utilité sur les corrélations entre l'environnement végétal et l'environnement physique et humain.

Il est évident que la *description de la végétation* ne se borne pas à la seule identification botanique (l'identification des espèces et leur dénombrement s'apparentent à l'étude de la distribution d'une population), mais intègre généralement des contraintes et des éléments naturels favorables du milieu.

L'information saisie et la façon dont cette information sera traitée et analysée dépendront donc de l'objectif assigné à la lecture de la végétation. L'intégration des données et l'étude de leurs corrélations deviennent plus complexes au fur et à mesure que l'on cherche à fournir une interprétation synthétique et globale du fait végétal : la lecture écologique de la végétation représente ainsi le niveau d'intégration le plus sophistiqué des différents facteurs déterminant la végétation.

Parmi ces différents facteurs déterminant la configuration spatiale du couvert végétal, on retiendra essentiellement :

a) Les facteurs climatiques — pluviométrie, températures, ensoleillement — qui sont responsables avant tout de la croissance et du développement de chaque espèce et de la répartition des types de végétation : on étudiera en particulier les données pluviométriques sur une longue période en essayant de mesurer la variabilité relative des précipitations pour estimer les risques d'accidents climatiques. Une forte variation du régime pluviométrique, qu'elle soit positive ou négative, amène en effet, par rapport à l'état précédent, une situation de déséquilibre génératrice de modifications floristiques (éliminations, migrations) d'autant plus marquées que ce déséquilibre est prolongé. Au Sahel sud-saharien par exemple, l'effet de la dernière sécheresse, prolongée et survenant à la suite d'une période humide, a été ainsi particulièrement désastreux.

b) Les facteurs pédologiques et notamment les *caractéristiques édaphiques* des sols, c'est-à-dire leur comportement vis-à-vis de l'eau : selon ce comportement on pourra en effet trouver des espèces identiques dans des régions climatiques très différentes ; on parlera alors de *niches écologiques* où l'effet correctif des caractéristiques édaphiques sur le climat modifie la distribution normale de la végétation.

L'intégration de ces différents facteurs par la saisie des données de la pédologie, de la morphopédologie et de la géologie constitue une phase essentielle pour la compréhension de l'état du couvert végétal. Cependant, une approche globale du fait végétal implique que la recherche soit effectuée non pas sur le seul *milieu naturel* mais intègre également *l'environnement humain*.

La végétation n'est souvent représentée que par des formes de dégradation, avec des flores appauvries et secondaires résultant de l'intensité des actions humaines : le caractère plus ou moins artificiel des paysages rend donc délicat l'établissement des corrélations entre groupements végétaux et contraintes écologiques. Une étude des milieux doit donc rendre compte des modifications directes et indirectes introduites par la présence de l'homme. L'action anthropique\* s'exerce principalement sous trois aspects :

- du fait de l'agriculture : la seule végétation spontanée peut n'être que celle des friches et des jachères ;
- du fait de l'élevage : il y a sélection des espèces spontanées par broutage préférentiel, transport des diaspores, éventuellement surpâturage et disparition du couvert végétal ;
- du fait des coupes de bois : des espèces disparaissent ou les classes d'âge sont modifiées.

L'homme, en protégeant ou en favorisant certaines espèces, leur permet de dominer largement dans certains paysages, le feu intervenant également comme facteur important de modification. Ainsi, aucune formation végétale ne peut être considérée comme absolument intacte.

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION

a) Les cartes *d'inventaire de végétation* sont généralement établies par interprétation de photographies aériennes à grande échelle (1/20 000, 1/10 000...), éventuellement réalisées dans ce but. La saison et l'heure de prise de vue, l'émulsion photographique, l'échelle sont choisies en fonction des sujets d'étude : identification d'un certain nombre d'espèces, localisation précise, voire comptage, évaluation des classes d'âge, de l'état phyto-sanitaire...

On obtient ainsi des cartes de distribution végétale par espèces, par groupes d'espèces, qui peuvent satisfaire à plusieurs objectifs :

- l'exploitation pure et simple : la carte guide les opérations d'exploitation vers les aires productives (les zones où poussent telles essences forestières exploitables pour leur bois) et oriente la programmation des infrastructures indispensables (routes, ports, etc.) ;
- la gestion rationnelle d'une aire productive, par exemple celle des pâturages : l'inventaire de leur nature et de leur état permet de mettre sur pied des opérations de rotation, de mise en défense, voire même de protection intégrale ;
- la mise en évidence de processus de dégradation, qui exigent des mesures de régénération (reboisements, plantations, protection).

L'efficacité de tels inventaires implique que les espèces qui font l'objet de l'intérêt économique aient été sélectionnées à l'avance et que le type d'intervention dont elles sont l'objet (exploitation, gestion raisonnée, protection et régénération...) soit déjà déterminé. En outre, les informations que ces inventaires fournissent ne peuvent guère être utilisées à d'autres fins, l'objet d'étude étant extrêmement limité même si l'aire d'étude est vaste.

Une dimension supplémentaire est apportée par la *comparaison* d'inventaire, c'est-à-dire l'examen de la répartition d'une ou plusieurs espèces à plusieurs années de distance : les informations recueillies sont alors très utiles à la connaissance de l'évolution du milieu (pour des causes naturelles ou des causes anthropiques). On peut en déduire des indications sur le rythme de régénération des espèces considérées, sur les obstacles à cette régénération, les facteurs favorables, etc., permettant là aussi une gestion raisonnée et efficace et fournissant des indices (difficiles à obtenir autrement) sur l'évolution générale d'un milieu.

Il est fréquent qu'à une information cartographiée du type *inventaire* (des ressources forestières, des ressources fourragères...) soit associée une indication de *valeur* : valeur quantitative (nombre d'arbres à l'hectare dans le cas d'un inventaire forestier, par exemple) ou valeur qualitative (richesse alimentaire d'un pâturage...). L'évaluation qualitative de la production d'un milieu végétal est évidemment fonction de circonstances variables dont les principales tiennent aux conditions climatiques de l'année et aux modes d'exploitation de ce milieu. L'information sur ces sujets est donc utile, sinon indispensable, à toute intervention de décision sur la végétation naturelle.

b) Les cartes des *types de végétation* mettent en corrélation une description succincte des associations végétales et des conditions climatiques décisives, quelquefois des conditions morphologiques, quand celles-ci sont très contraignantes et donnent lieu à des formations caractéristiques (exemple : « forêt d'altitude »). On obtient ainsi, au moyen d'un vocabulaire spécialisé, une typologie quelquefois très détaillée dont les principaux éléments sont caractérisés par la hauteur et la densité du couvert végétal, le rapport quantitatif entre formations herbacées et formations arborées. On trouve des types tels que « forêt dense humide sempervirente en secteur ombrophile », « forêt dense humide semi-décidue en secteur mésophile », « forêt dense sèche en secteur sub-soudanais »... (1). Ces typologies sont souvent illustrées par la désignation de l'espèce végétale dominante ou considérée comme caractéristique de la formation (« savane herbeuse à *Vetiveria nigriflora* »).

De telles cartes sont courantes sous des formes plus ou moins détaillées. Elles s'inspirent des classifications phyto-géographiques et des modes de figuration cartographique préconisés par H. GAUSSEN dans la Carte Internationale du Tapis Végétal.

c) Parmi les *cartes synthétiques*, on distinguera celles qui cherchent à intégrer le plus grand nombre de variables possibles déterminant la végétation, au risque de produire des documents parfois difficilement lisibles, de celles qui utilisent *la végétation comme indicateur synthétique des conditions écologiques*, véritables cartes écologiques permettant d'éviter un mode de représentation généralement peu satisfaisant.

En ce qui concerne les premières, l'intégration des différents éléments déterminant la végétation est représentée sous forme de « bandes » ou de « treillis » traduisant la nature et l'intensité des phénomènes contraignants que l'on a choisi de privilégier (durée de la saison sèche, nombre de jours de gel, etc.).

Certaines de ces cartes, cherchant à restituer des corrélations climat-morphopédologie-intervention humaine-description végétale, évitent de surcharger le figuré de la carte en fabriquant une légende complexe, souvent présentée sous forme de tableau. Chacun des éléments est alors classé et les classifications correspondantes sont placées sur le même rang ; un figuré (couleur ou trame) leur est affecté.

(1) Exemples empruntés à la Carte de Végétation de l'Atlas National de Côte d'Ivoire, Orstom-Université d'Abidjan, 1973.



En ce qui concerne le second type de carte, la carte écologique, on y trouve l'expression synthétique de tous les éléments concourant à l'organisation du fait végétal : le climat, la pédologie, la géomorphologie, les facteurs humains, etc.

C'est la démarche d'élaboration d'une telle carte que nous étudierons maintenant sur un exemple concret.

### 3. MAÎTRISE ET UTILISATION DE LA CARTE ÉCOLOGIQUE

L'exemple de la cartographie écologique du département de Maradi (République du Niger) (1) illustre précisément l'intérêt de la démarche synthétique, qui utilise la végétation comme un indicateur de l'état des conditions écologiques d'un milieu sur lequel on se propose d'intervenir.

La carte écologique du département de Maradi (République du Niger) fait partie d'une étude sur le milieu naturel et les systèmes de production, qui constitue elle-même le premier volet du dispositif de recherche mis en place pour définir une stratégie d'amélioration de la production agricole *respectant l'équilibre des conditions du milieu naturel*. Elle s'inscrit dans une démarche pluridisciplinaire d'analyse des déséquilibres des systèmes naturels, agricoles et socio-économiques dont les points forts sont :

- une analyse conduite en termes d'évolution : l'objectif des travaux n'est pas seulement d'obtenir un cliché de la situation actuelle, mais aussi de restituer dans le temps les variations subies par trois éléments : contraintes naturelles, conditions sociales et techniques de production, répartition et affectation des ressources végétales issues des processus de production ;
- une analyse conduite en termes de système : l'étude des variations propres à chacun des éléments doit se faire en liaison avec l'analyse des interactions et des combinaisons éventuelles entre ces facteurs.

Dans le cadre méthodologique, l'approche phyto-écologique part du principe que, « miroir du milieu », la végétation intègre à la fois les données de l'environnement naturel et les données de l'environnement humain pour en donner une expression synthétique.

L'étude phyto-géographique et l'élaboration de la carte écologique ont été effectuées *au niveau régional* — le plus pertinent pour appréhender les phénomènes ayant trait au climat, à la végétation et à la mise en valeur de l'espace.

L'étude phyto-géographique s'est déroulée parallèlement à la collecte des informations disponibles sur le département (cartes topographiques, études pédologiques, documents administratifs, recensements, enquêtes économiques...), ainsi qu'à l'analyse des données climatiques depuis l'origine des stations et à une enquête régionale sur la chronologie et l'histoire du peuplement.

La cartographie de l'occupation de l'espace a été effectuée sur la base de l'interprétation des photographies aériennes de 1957 à 1/70 000 et de 1975 à 1/60 000.

Le coût de cette étude a été d'autant plus faible que les documents de télédétection aérienne étaient déjà disponibles et que la région était bien connue de l'équipe pluridisciplinaire : cela a permis de réduire le temps de détermination des transects d'observation de la végétation et a donné au phyto-géographe la dimension globalisante efficace.

Le département a été divisé en trois grands domaines, fondés sur la principale contrainte climatique : la hauteur moyenne des pluies annuelles. Mais on a constaté que, davantage que le climat, c'est l'édaphisme\* qui est responsable de l'organisation des grands traits de la végétation : la distinction entre sols sableux des ensembles dunaires et sols plus compacts reste fondamentale. C'est donc le même schéma de végétation qui se retrouve du nord au sud, avec un certain nombre d'espèces à amplitude climatique assez large dans les mêmes situations édaphiques, espèces auxquelles viennent s'ajouter des plantes plus caractéristiques des nuances climatiques. Toutefois, il convient de remarquer que au fur et à mesure que les conditions climatiques deviennent plus limitantes, le rôle correcteur du facteur édaphique (par aggravation ou par compensation de l'aridité climatique) devient plus marquant.

Le rôle d'indicateur écologique des espèces végétales est souvent d'autant plus précis que l'aridité climatique est plus accentuée : à la limite, l'effet correctif du sol sur le climat peut être tel que les mêmes espèces se situent dans des *niches écologiques* très différentes au nord et au sud de la région.

(1) Carte Écologique du Département de Maradi au sud de la vallée de Tarka, 1/500 000, par J. KOEHLIN, DGRST-Universités de Bordeaux II et Bordeaux III, 1975.

Dans le but de préciser la notion de *saison humide* et de mieux cerner son influence sur les phénomènes biologiques, il est fait appel à l'indice d'aridité, qui intègre la pluviométrie et la température.

L'étude des données climatiques sur le département de Maradi a mis en évidence le caractère limitant que constituent la longueur de la saison sèche (de huit à dix mois) et la faiblesse générale des pluies (de 350 à 650 mm de moyenne annuelle ordinaire) mais surtout la variabilité des précipitations et l'absence de corrélation, au moins en apparence, entre certains éléments du régime pluviométrique.

En ce qui concerne la végétation, le manque de documents anciens précis n'a pas permis d'apprécier avec exactitude l'effet des accidents climatiques tels que la dernière grande sécheresse ou la longue période d'années pluvieuses qui l'a précédée. Cependant, l'observation de la végétation a permis de constater que certaines essences particulièrement fragiles avaient été par endroits pratiquement éliminées sans qu'il soit possible de dire encore si cette élimination était définitive. D'autres espèces, en revanche, favorisées par un système racinaire très profond, ont été avantagées.

L'effet de la dernière sécheresse au Sahel, prolongée et survenant à la suite d'une période humide, a été ainsi particulièrement sensible. A cet égard, l'effet sur le milieu des actions humaines est d'autant plus ressenti que ces actions s'exercent en situation de déséquilibre : ainsi peut s'expliquer sans doute la brutalité des phénomènes de dégradation qui se manifestent dans les régions sahéliennes...

Pour appréhender les caractéristiques du comportement des sols vis-à-vis de l'eau, on a utilisé les données géomorphologiques permettant un premier repérage des traits les plus marquants du paysage physique : vallées, formations éoliennes récentes, formations éoliennes anciennes, affleurements...

En fonction du matériau d'origine, de la géomorphologie, des conditions climatiques présentes ou passées, différents types de sols ont alors été identifiés. L'utilisation des cartes pédologiques de reconnaissance est venue compléter cet inventaire en fournissant des informations sur les caractéristiques chimiques, la texture et la structure des sols. Enfin, des informations sur la classification des sols par les populations qui vivent sur place (« classification vernaculaire ») ont grandement facilité l'élaboration d'une synthèse des données objectives.

Le tracé des transects a ensuite été défini de façon à recouvrir au mieux l'ensemble des valeurs que peuvent prendre les différents facteurs écologiques directement influents sur la nature, la quantité et la configuration spatiale du couvert végétal. Il a été fait sur la base d'un gradient climatique et d'un gradient pédologique.

Un premier travail de discrimination et d'identification des types de végétation a été mené sur le terrain en s'aidant chaque fois des photographies aériennes correspondant au transect parcouru. Le phyto-géographe a bâti alors un *catalogue d'images* correspondant à chacun des transects pour lesquels il possédait les informations sur la corrélation espèce végétale — contrainte écologique. L'extrapolation à l'ensemble de la couverture aérienne des corrélations ainsi établies s'est faite à partir de ce *catalogue*.

La carte écologique qui résulte de ces travaux représente les unités naturelles, souvent très morcelées et imbriquées les unes dans les autres, pour lesquelles on a déterminé le type dominant appartenant à l'unité et ses caractéristiques principales sur le plan morpho-pédologique et botanique (associations et type dominant).

Ces unités écologiques sont donc caractérisées chacune par certaines combinaisons d'aptitudes et de contraintes à la mise en valeur agricole ou pastorale, d'ordre climatique, édaphique ou biologique (valeur du pâturage, par exemple). Ce potentiel est utilisé par l'homme selon les moyens dont il dispose en outils de travail et en techniques agricoles, en matériel végétal, et en temps disponible... Il devient donc intéressant de confronter l'état des contraintes et des aptitudes du milieu — c'est-à-dire l'état de l'évolution de l'écosystème — et l'intensité de l'occupation du milieu par l'homme, c'est-à-dire l'état du développement des systèmes de production.

La superposition de la carte écologique et de la carte d'utilisation du sol permet d'évaluer le taux d'utilisation de l'espace dans chacune des unités écologiques définies. Un tel regroupement indique en particulier comment les agriculteurs et les éleveurs utilisent les aptitudes et maîtrisent les contraintes ; il permet d'apprécier la réponse apportée par les producteurs aux différentes aptitudes et contraintes du milieu au niveau des systèmes production / organisation du travail / techniques culturales.

Dans l'exemple du département de Maradi, il est particulièrement intéressant de discerner, entre la situation où les caractéristiques édaphiques sont défavorables et la pluviométrie satisfaisante, et la situation inverse, quelle est celle qui correspond à l'utilisation de l'espace la plus intense.

La corrélation entre l'occupation du sol et les unités écologiques en fonction des contraintes édaphiques est un indicateur de l'efficacité des systèmes d'utilisation du sol...

Ce type de recoupement permet donc d'identifier les directions de développement pour une amélioration de la gestion de l'espace agricole et pastoral en fonction du double aspect aptitudes du milieu et état de sa mise en valeur. En combinant ces deux idées, il devient possible de définir des *unités de mise en valeur* : chaque unité représente un ensemble où prévaut un assemblage de conditions qui déterminera les potentialités de développement les plus marquantes de l'unité et les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir.

## FICHE TECHNIQUE

**CARTE DES RESSOURCES FOURRAGÈRES, RÉPUBLIQUE DE HAUTE-VOLTA, 1/200 000, par G. de WISPELAERE et B. TOUTAIN, Ministère du Développement rural (Ouagadougou) et IEMVT (Maisons-Alfort), 1978, © IEMVT.**

### PRÉSENTATION :

La carte des ressources fourragères couvre les zones nord et nord-est de la Haute-Volta, soit le département du Sahel et une partie du département de l'Est, correspondant aux arrondissements de Djibo, Gorom-Gorom, Bogandé, Fada N'Gourma. Le territoire cartographié représente environ 58 000 km<sup>2</sup>.

La carte fait partie d'un ensemble qui comporte plusieurs cartes thématiques différentes :

- la carte des ressources fourragères à 1/200 000 en trois feuilles (qui est l'exemple cité ici) ;
- la carte des états et des évolutions du couvert végétal à 1/200 000 en six feuilles ;
- les cartes des surfaces cultivées en 1974 et en 1955 à 1/200 000 en six feuilles ;
- plusieurs cartes de synthèse à 1/1 000 000.

Ces travaux ont été réalisés à la demande et pour le compte du gouvernement de Haute-Volta. L'ensemble cartographique accompagne et illustre un rapport en trois volumes traitant de l'ensemble des problèmes d'agro-pastoralisme dans la région traitée ainsi que de l'utilisation pratique des cartes, et qui constitue en quelque sorte la notice des cartes.

Toutes les cartes de base à 1/200 000 ont été réalisées par l'interprétation de photographies aériennes à 1/50 000 (4 500 clichés), appuyée sur des observations de terrain recueillies au cours de missions s'étendant sur plusieurs années.

Chaque planche de la *carte des ressources fourragères* est complétée par plusieurs cartons à 1/5 000 000 et à 1/3 000 000, qui permettent le repérage de la feuille sur le territoire national et figurent succinctement deux thèmes essentiels, explicatifs du milieu : la géologie et la pédologie.

### ILLUSTRATION :

L'illustration présentée ici est extraite de la *carte des ressources fourragères*, feuille de Dori. elle représente 42 x 59 km sur le terrain, soit 2 500 km<sup>2</sup> environ.

Chaque unité cartographique représente une unité de territoire, pâturable ou non, identifiée par un signe (exemple Ab, Ba, Bb...) et une teinte. L'ensemble fait référence à une légende détaillée, présentée sous forme de tableau, qui précise :

- la physionomie de la végétation,
- la composition floristique dominante,
- la valeur fourragère en fonction de l'état,
- la période optimale d'exploitation,
- la capacité de charge en bétail.

Les couleurs employées ont été choisies en fonction de critères bioclimatiques préconisés par H. GAUSSEN (1) pour réaliser la carte du tapis végétal du monde.

On distingue en zone sahélienne :

- la végétation des placages sableux éoliens (orangé),
- la végétation des glacis non gravillonnaires (jaune),
- la végétation sur sols plus ou moins gravillonnaires (rouge),
- la végétation des vallées et terrasses alluvionnaires (gris et violet).

La végétation hydromorphe est indiquée en bleu ; les terrains cultivés sont laissés en blanc.

Les différences de formations sont matérialisées par des combinaisons de teintes et de symboles.

Le fond de carte est celui de la *carte de l'Afrique de l'Ouest* à 1/200 000 de l'Institut Géographique National (France), dont on n'a conservé, aux fins de repérage précis, que les lieux habités et les axes de communication, la toponymie, l'hydrographie.

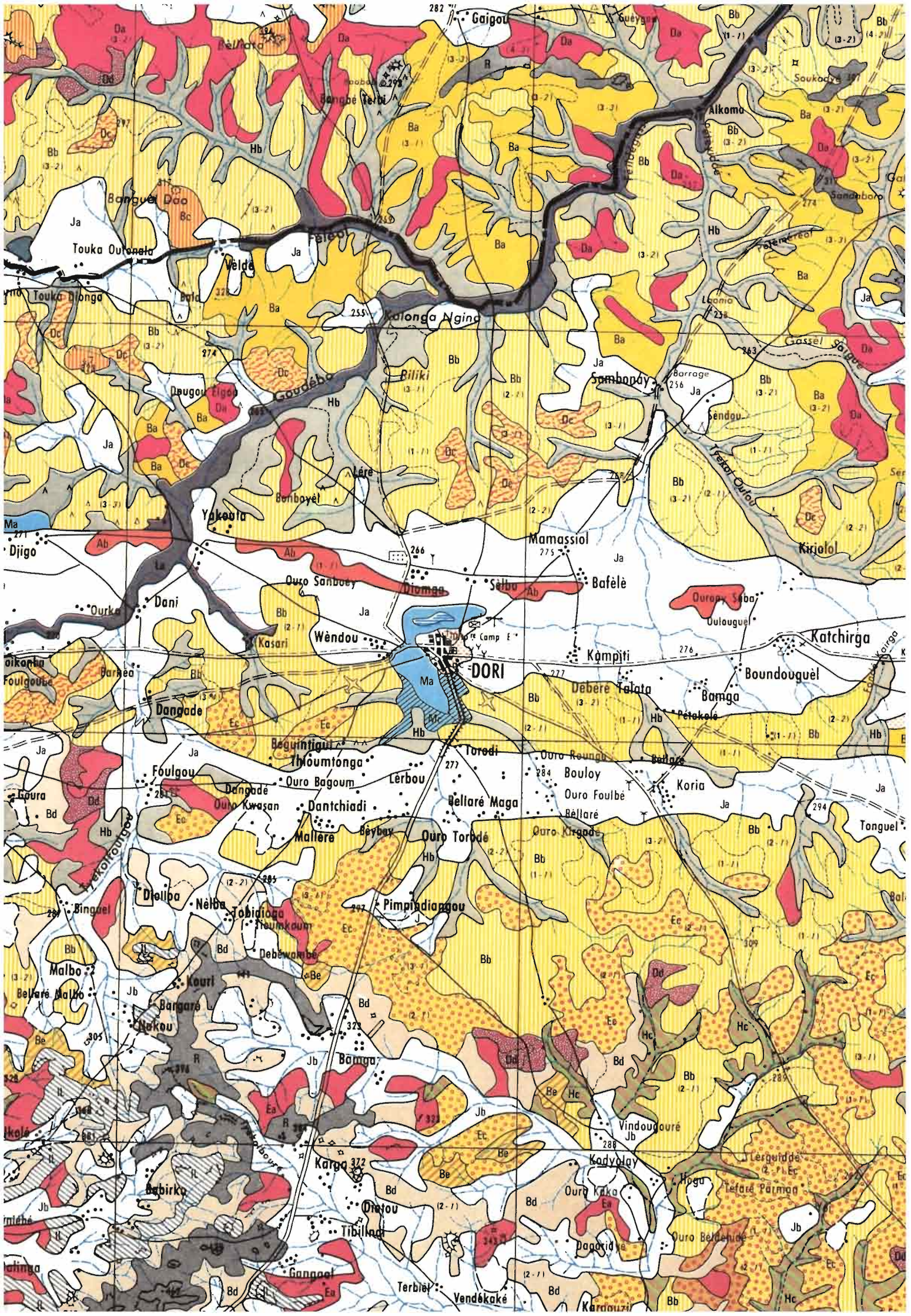
### UTILISATION DE LA CARTE DES RESSOURCES FOURRAGÈRES :

L'ensemble carte et légende de la *carte des ressources fourragères du nord de la Haute-Volta* met à la disposition du lecteur et de l'utilisateur une quantité considérable d'informations spatialisées, non seulement en ce qui concerne la description, l'*inventaire* des végétaux ou des types de végétaux présents, mais également en ce qui concerne leur état et les *aptitudes au pâturage* des unités figurées. C'est ainsi que la série des qualifications de l'unité Ec, qui appartient au type *pâturages sahélo-soudaniens des zones gravillonnaires*, peut être lue directement sur la légende comme suit :

- glacis sahélo-soudanien à sols sableux en surface et gravillonnaires en profondeur ;
- steppe arbustive à strate herbacée irrégulière localement dense et strate ligneuse assez dense et contractée ;
- espèces dominantes : *Commiphora africana*, *Acacia laeta*, *Schoenfeldia gracilis*, *Loudetia togoensis* ;
- états 1, 2 et 3, c'est-à-dire allant du bon état à la dégradation importante selon les unités ;

(1) Les travaux du Professeur Henri GAUSSEN, de l'Université de Toulouse, ont été désignés par l'UNESCO comme référence de base dans le domaine du choix des couleurs en cartographie de la végétation.







- production moyenne annuelle de 1,2 à 3 tonnes de matière sèche à l'hectare selon l'état du pâturage et la capacité moyenne de charge annuelle : une UBT (1) pour 2,2 à 5,5 hectares ;
- pâturage de toutes saisons, surtout de saison des pluies, sensible au piétinement et au surpâturage : dénudation des sols.

Autant qu'une carte d'inventaire, il s'agit là d'une carte de synthèse et de prospective qui peut être lue et utilisée au niveau souhaité par le demandeur, selon ses besoins du moment et l'opération envisagée.

**DISPONIBILITÉ :**

Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux (IEMVT), 10 rue Pierre Curie, 94700 MAISONS-ALFORT (France), téléphone : (1) 368.88.73.

Le service de documentation de l'IEMVT met à la disposition des utilisateurs tous les ouvrages illustrés par des cartes des problèmes pastoraux et conditionnant l'élevage en général, dans un Centre de Documentation de plus de 15 000 ouvrages.

L'IEMVT est membre du Groupe d'Études et de Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale (GERDAT), 42 rue Scheffer, 75016 PARIS (France).

(1) Unité Bovine Tropicale. Une tête de bovin = 0,75 UBT ; une tête de caprin = 0,15 UBT.

## Chapitre 5

# La répartition de la population

Le concept de population — entendu dans son sens statistique — a un caractère quantitatif plutôt que qualitatif. La représentation cartographique des informations relatives à la population — humaine, animale, végétale — répond donc davantage à la question *où et combien ?* qu'à la question *où et quoi ?* En outre, la cartographie est un outil adapté à l'étude des phénomènes démographiques dans la mesure où ils sont liés aux *populations humaines* et s'intègrent d'abord dans un cadre géographique.

L'une des représentations cartographiques des phénomènes démographiques est celle de la *répartition de la population* à un moment donné et dans un espace géographique déterminé qui peut être un pays, une région, une zone... La cartographie à toutes les échelles de la répartition de la population est relativement simple puisqu'il s'agit toujours de représenter la distribution d'une même variable sur un territoire. En revanche, la restitution visuelle des *indices démographiques* visant à analyser les données de structure de la population et ses mouvements, afin de mettre en évidence leurs disparités, exige que l'on connaisse préalablement la pertinence des indices retenus au *niveau géographique* auquel on désire travailler.

D'une façon générale, c'est au niveau d'un État, et donc dans le but d'une comparaison internationale, que la représentation d'indices, tels que les taux de natalité ou de mortalité, conserve un certain intérêt : à petite échelle, la comparaison entre plusieurs pays des taux bruts de mortalité, par exemple, prend son sens parce que les structures par âge et par sexe de la population ont tendance à s'uniformiser si les populations sont suffisamment nombreuses. Au niveau inférieur (région, département), la représentation cartographique des indices démographiques perd sa signification et reflète plutôt des disparités dans les données de structure de la population que dans les phénomènes représentés : par exemple, un taux de natalité peut être faible parce que la population à laquelle il se rapporte est vieillie ou bien essentiellement masculine, etc. L'information qu'il donne est alors trop grossière pour être considérée comme valable sur le *niveau de la natalité*.

Le choix du niveau géographique et de l'échelle convenant à la restitution cartographique des indices démographiques est donc particulièrement délicat : plus l'échelle est petite plus la représentation des disparités géographiques est faible — compensation des différences à l'intérieur d'une même zone —, plus l'échelle est grande plus le niveau d'analyse est fin et la restitution des disparités meilleure, mais plus grande est l'incertitude et donc plus grande doit être la prudence dans l'usage des indices démographiques.

### 1. SAISIE DE L'INFORMATION DÉMOGRAPHIQUE

Les données démographiques sont tirées de plusieurs types de collecte :

a) *Les recensements généraux de la population*, dont on pourrait souhaiter qu'ils soient réalisés régulièrement tous les dix ans comme le suggèrent les recommandations internationales. Ils se

distinguent par leur caractère *exhaustif et instantané* et fournissent des données sur le *nombre* et la *structure* d'une population.

b) *Les enquêtes démographiques par sondage*, qui s'intéressent à un échantillon aléatoire de la population. Elles peuvent être post-censitaires et ont alors pour objet de compléter les informations fournies par le recensement, ou s'intéresser à un phénomène démographique précis comme l'étude de la fécondité, laquelle permet de formuler des hypothèses sur la croissance démographique.

c) *L'État Civil*, qui fournit des données sur les mouvements naturels de population (natalité, nuptialité, mortalité, etc.).

d) Les dénombrements à usages administratifs divers (fiscaux, militaires, sanitaires, etc.).

Parmi ces différentes sources d'information, seul le recensement, par son caractère exhaustif et instantané, fournit les données précises nécessaires à l'étude de la répartition de la population et de sa structure. Ces données sont essentiellement :

a) Les données globales sur la population selon le statut de résidence, le sexe et l'habitat, en distinguant :

- la population résidente de la population émigrée,
- la population résidente présente de la population résidente absente.

b) Les structures par âge et par sexe de la population administrative (résidente et émigrée) par groupes d'âge quinquennaux.

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION : LES CARTES DE RÉPARTITION DE LA POPULATION

La restitution cartographique des données extraites du recensement général de la population constitue le travail de base valorisant le mieux le caractère exhaustif et simultané de la collecte de l'information.

On traitera d'abord le mode de représentation qui restitue l'information quantitative en grandeur réelle (valeur absolue) en figurant la *population à l'endroit exact où elle réside* : c'est la carte de répartition de la population par points.

Le second mode de représentation restitue les données de dénombrement en terme relatif sous la forme de *ratio* rapporté à une surface. Ce sont les *cartes de densité de la population*, densité exprimée par le nombre d'habitants au kilomètre carré. On distinguera les cartes où la densité de population se rapporte à des unités géographiques précisément délimitées, de celles où la plage de densité représentée a une surface non connue.

### 2.1. La carte de répartition de la population par points

Cette carte peut être dressée aisément : la seule difficulté résidant dans le repérage géographique des unités de recensement fines (villages, hameaux, etc.). On peut pour cela s'aider de la cartographie censitaire (1) souvent établie au préalable à partir de photographies aériennes, de cartes topographiques à échelle convenable, etc. En ce qui concerne l'utilisation de ces dernières, un travail de mise à jour peut être nécessaire pour ce qui est de l'emplacement exact des lieux habités, de leur toponymie, etc., celles du continent africain (entre autres) datant de nombreuses années.

Sur cette base, on élabore ensuite un fond de carte où les lieux habités sont localisés et codés. Cette codification a pour but d'identifier les lieux habités par un mode plus systématique et plus aisément repérable que la seule toponymie ; elle est reprise dans tous les documents (listes et fichiers, mises à jour, etc.). On utilise généralement un système à base décimale de plusieurs chiffres, respectant les hiérarchies du découpage administratif.

Une fois identifiée géographiquement chaque unité d'habitat (villages et communes, hameaux ou unités familiales...), on inscrira son chiffre de population à l'emplacement adéquat selon le mode de figuration choisi. Un étalonnage de la relation *surface des cercles/chiffre de population* est nécessaire afin que le noircissement de la carte soit compatible avec sa lisibilité (dans les régions les plus denses, il y a risque de chevauchement des signes figurant des unités voisines) et avec la finesse de la représentation souhaitée.

(1) Nous appelons ici *cartographie censitaire* les documents de travail à grande échelle qui portent l'emplacement précis de tous les lieux habités, qui servent à établir le plan de visite des agents recenseurs.



Le résultat donne une idée de la *densité relative* de la population tout en figurant sa répartition spatiale et numérique *exacte*. On obtient ainsi une expression visuelle de la distribution de la population en vraie grandeur. Pour les zones urbaines, on utilise parfois une échelle différente (logarithmique, par exemple) dans la relation surface des cercles/population.

La carte de répartition de la population ainsi dressée a l'avantage de ne se périmer que *lentement* car la perception visuelle des grandeurs *relatives* du peuplement reste constante, sauf cas particulier (zones urbaines ou péri-urbaines à forte immigration, par exemple).

La restitution cartographique par points fournit, en outre, une information sur les caractéristiques socio-démographiques du peuplement par le biais de la structure de l'habitat : groupé ou dispersé en milieu rural ; plus ou moins concentré quant au réseau urbain.

## 2.2. Les cartes de densité de la population

### a) Par lignes d'égale densité de population

Les données qui ont servi à réaliser la carte de répartition de la population par points sont restituées sur ce type de carte par des lignes d'égale densité de la population de même que, dans un autre domaine, les données de la pluviométrie sont figurées par des *isohyètes*, lignes d'égale valeur des hauteurs de pluie tombée.

Ce mode de représentation, très expressif, est proche de la carte de répartition de la population par points : le tracé des lignes traduit visuellement la répartition réelle de la population sans intervention de limite arbitraire. On peut augmenter la finesse de l'information ainsi traduite en multipliant les lignes d'égale densité. Cette forme de restitution présente cependant un inconvénient majeur, celui de fournir une information en *valeur relative* qui ne se rapporte pas à une unité de surface *connue*.

La carte des lignes d'égale densité de population n'est donc pas souvent utilisée par l'analyste, mais celui-ci se reportera avec profit aux minutes d'élaboration de la carte pour effectuer tout un calcul, en termes de densité comme en termes de chiffre absolu de population, dans un périmètre défini. En effet, l'un des processus d'élaboration de la carte par lignes d'égale densité consiste à établir des grilles de densités comparées (1) permettant de calculer, par simple superposition, les densités de population de n'importe quelle unité spatiale clairement identifiée (unité de vocation des sols, unité écologique, unité administrative...).

### b) Par unité de surface connue

Ce mode de représentation s'apparente à l'illustration cartographique des indices démographiques dont il sera question plus loin. Il se conforme en particulier aux mêmes contraintes d'échelle de restitution : l'échelle de la carte doit être relativement réduite afin de permettre la représentation graphique d'un nombre d'unités justifiant la comparaison visuelle, tout en demeurant telle que la taille de ces unités reflète des disparités significatives.

Ces unités sont soit des unités de surface normalisée sous forme de carrés de  $n$  km de côté, par exemple, soit des unités de surface connue ou mesurable susceptibles d'encadrer logiquement et utilement la figuration en quantité relative de la population : unités administratives, terroirs (2), zones naturelles, etc.

L'intérêt principal de ce mode de figuration est de permettre une lecture de la répartition spatiale du peuplement par unité d'analyse retenue par le planificateur, avec cette contrainte majeure que l'unité d'analyse soit également l'unité de collecte des données démographiques d'une part, l'unité des données planimétriques d'autre part.

La représentation élémentaire de la répartition des individus sur une aire géographique déterminée fournit une information nécessaire mais insuffisante : il est indispensable pour le démographe comme pour le planificateur de préciser les caractéristiques de ces individus, leur répartition par âge, par sexe, état matrimonial, etc.

La cartographie de ces indices démographiques se développe d'autant plus que les données sont abondantes.

(1) Cette grille se présente sous la forme de quadrillages de l'espace cartographié en carrés de  $n$  kilomètres carrés (4 kilomètres de côté, par exemple, pour une restitution à 1/200 000), les densités comparées étant inscrites sur chaque sommet du carré. Pour plus de détails se reporter à l'exposé de la méthode dans *Élaboration d'une carte de densité par isoligne*, par J.P. DUCHEMIN, Cahiers Sciences Humaines, vol. IX, n° 2, Orstom 1972.

(2) La figuration de la densité de population rapportée aux *terroirs* donne, au prix de travaux considérables, des résultats très significatifs.

## 2.3. La représentation cartographique de la structure de la population

La représentation cartographique qu'on peut en faire dépend alors de ce que l'on étudie : dans le cadre d'une étude sur l'activité agricole, on cherchera à représenter des tranches d'âge parmi les actifs en rapportant à l'unité de surface choisie, connue, appropriée, le nombre d'actifs dans chaque tranche ; pour étudier la scolarisation d'une population on représentera les différentes catégories d'âge et de sexe de la population scolarisable par unité de surface choisie.

La cartographie des données sur la structure de la population peut, dans certains cas, s'avérer inopérante et on lui préférera alors des modes de représentation comme les graphiques, les pyramides des âges et les autres tableaux statistiques...

## 2.4. La représentation cartographique des indices démographiques rendant compte des mouvements de population

La restitution des données sur la population recueillies par le recensement général s'accompagne, dans le cadre des études prospectives pour la planification, du traitement de l'information démographique permettant d'expliquer les *mouvements de population*.

Cette information, collectée le plus souvent au moyen des enquêtes démographiques par sondage, fournit les données nécessaires au calcul des principaux indicateurs explicatifs d'une situation démographique. Elle permet également de formuler des hypothèses sur son évolution.

Les mouvements de population sont de deux sortes :

- les mouvements naturels : fécondité et mortalité,
- les migrations.

A partir de ces données sont calculés les différents ratios ou variables démographiques : la représentation de leur distribution spatiale illustre les rapports sur la situation démographique d'un pays.

Les indices démographiques sont essentiellement :

- le solde (positif ou négatif) *d'évolution de la population* par rapport à une année de référence ;
- le solde *migratoire*, migration nette interne au pays et migration totale ;
- l'accroissement naturel ;
- les indices de fécondité : descendance finale et/ou somme des naissances réduites ;
- le taux de natalité ;
- le taux de mortalité, le taux de mortalité infantile ;
- le ratio de surmortalité masculine ou féminine par âge ;
- l'espérance de vie à la naissance ;
- la surmortalité, masculine ou féminine, qui peut s'exprimer par le rapport des espérances de vie à la naissance ;
- une série d'indices par âge tels que la proportion de célibataires, et des indices plus spécifiques portant sur la fécondité illégitime, les naissances prénuptiales par exemple, qui relèvent autant de l'analyse sociologique que de l'analyse démographique.

La restitution cartographique des indices démographiques se fait généralement à petite échelle et par unités administratives de façon à couvrir l'ensemble d'un pays. Les superficies auxquelles se rapporte l'information démographique sont alors connues, de même que leur population totale, ce qui permet d'extrapoler les résultats obtenus par les enquêtes sur échantillons.

Par sa relative simplicité graphique, la restitution visuelle des indices démographiques rendant compte du mouvement de la population est un outil d'analyse prospective pour le planificateur qui peut, notamment, comparer plusieurs situations résultant d'hypothèses démographiques distinctes – sur la fécondité en particulier. Néanmoins, si la figuration cartographique de l'information démographique peut se substituer utilement à la présentation en tableau statistique, elle n'est pas irremplaçable.

### 3. MAÎTRISE ET UTILISATION DES CARTES DE RÉPARTITION DE LA POPULATION

Le grand intérêt des cartes de répartition de la population, et en particulier de la carte de répartition par points, est de ne rien masquer de l'environnement physique et économique dans lequel s'inscrit le peuplement. On distinguera ainsi deux lectures de la carte de répartition de la population par points, indispensables aux études d'aménagement du territoire.

Dans une première lecture, *la répartition de la population est analysée comme la distribution spatiale du facteur force de travail*, en vue de la mise en œuvre des facteurs de production physiques et économiques. La mise en relation des potentialités du milieu naturel et de la répartition de la population ne saurait cependant déterminer à elle seule les actions de développement à promouvoir. L'abondance de la population apparaît, selon les systèmes de production adoptés, comme une contrainte, ou comme un facteur du développement. Les facteurs physiques, l'environnement naturel prennent une signification différente selon le niveau des techniques développées et par conséquent selon le type d'organisation sociale et économique. Il est donc nécessaire de réfléchir en termes de relation entre le milieu physique et les structures socio-économiques.

Ainsi, dans une région où la quantité de population est considérée comme déséquilibrante, l'adoption de techniques d'intensification et une nouvelle forme d'organisation de la production transformeront la contrainte « population » en un facteur d'élévation de la productivité du travail.

Parallèlement à cette première lecture axée sur la production, une seconde lecture, axée sur les besoins, s'impose au planificateur. *La répartition de la population exprime alors la distribution spatiale de la demande à satisfaire* et le fait en termes de besoins vivriers, de besoins en équipements hydrauliques et en infrastructures de santé, d'éducation, de communication, etc.

Mais la carte de répartition de la population ne saurait exprimer, là non plus, une réalité sociale, tant la notion de besoin est relative à une conception globale de l'activité économique et sociale ; par conséquent, elle ne doit pas être utilisée seule pour dégager les priorités d'intervention en matière de développement. L'exemple connu des programmes d'hydraulique pastorale élaborés sans référence aux pratiques sociales de gestion des pâturages vient confirmer la nécessité de relativiser l'approche en termes de ratio d'équipement par habitant.

La lecture de la carte de répartition de la population doit donc être faite avec précautions et dans le cadre d'une analyse globale dépassant la simple confrontation ressources-besoins.

## FICHE TECHNIQUE

Deux cartes de répartition de la population sur la même région sont présentées ici. Ces deux cartes appartiennent à un ensemble de 46 planches en couleurs, l'Atlas de Côte d'Ivoire, qui décrit et localise la plupart des phénomènes et éléments physiques, sociaux et économiques cartographiables de la République de Côte d'Ivoire. Chaque planche est accompagnée d'une notice indiquant les sources de documentation, les méthodes de traitement de l'information, et présentant un commentaire analytique sur le sujet traité et une bibliographie.

### 1. LOCALISATION DE LA POPULATION, 1965, par J.P. TROUCHAUD et J.P. DUCHEMIN, © Orstom.

#### 1.1. PRÉSENTATION :

Échelle 1/1 000 000, 1 cm = 10 km.

Présentation en deux feuilles pliées couvrant la totalité du territoire ivoirien ; dimensions de chaque feuille dépliée : 42 x 76 cm hors-tout, 40 x 70 cm de format utile (soit 45 degrés carrés environ).

La carte est en quatre couleurs.

#### 1.2. ILLUSTRATION :

Localisation : feuille sud, région allant de Daloa à Sassandra.

Surface couverte : 210 x 295 km, soit 62 000 km<sup>2</sup> environ.

Objectif de la carte : figurer la population au lieu de résidence administrative, ce qui met en évidence des corrélations entre la répartition de la population et certains faits physiques ou socio-économiques. Ici, c'est la corrélation du peuplement avec les axes de communication qui apparaît clairement.

Thèmes et modes de représentation : la population rurale est figurée en noir en deux classes de points, représentant 100 et 1 000 habitants. La population urbaine est figurée en rouge en cinq classes de population pour les agglomérations comprises entre 4 000 et 25 000 habitants, en cercles directement proportionnels à la population pour les agglomérations supérieures à 25 000 habitants.

Hydrographie et axes de communication complètent la carte.

### 2. DENSITÉ DE LA POPULATION RURALE, par J.P. DUCHEMIN, © Orstom.

#### 2.1. PRÉSENTATION :

Échelle 1/2 000 000, 1 cm = 20 km.

Présentation en une feuille couvrant la totalité du territoire ivoirien, en couleurs.

Format utile : 36 x 39 cm.

#### 2.2. ILLUSTRATION :

Localisation : même région que la carte ci-dessus.

Objectif de la carte : figurer la densité de la population *rurale* (1), exprimée en habitants au kilomètre carré, relativement à des unités territoriales de petite taille, se rapprochant de l'ordre de grandeur des terroirs villageois. La population rurale est figurée par plages de densités au kilomètre carré en neuf niveaux de 10 en 10 habitants. La carte a été dressée par la méthode des lignes d'équidensité.

### 3. SOURCES DE DOCUMENTATION ET ÉLABORATION :

Les deux documents sont issus de la même documentation de base. Pour la documentation statistique, il s'agit :

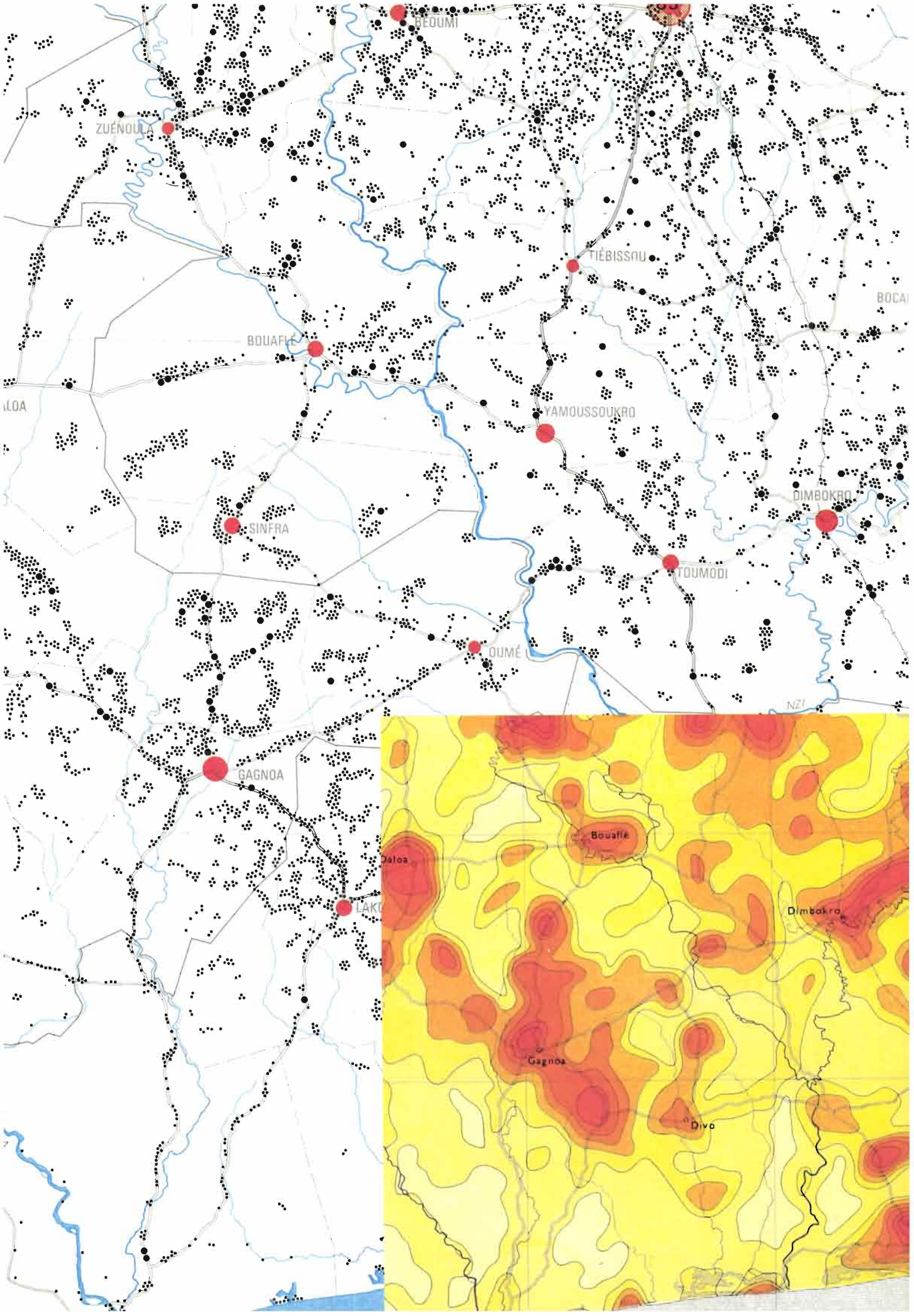
- des recensements administratifs ;
- des données issues des campagnes d'éradication de la variole ;
- des résultats d'enquêtes socio-économiques régionales par sondages ;
- de calculs sur la proportion de *population rurale* dans les agglomérations de plus de 4 000 habitants pour la carte de densité de la population rurale.

Pour la documentation géographique (localisation des lieux habités), on a utilisé les sources administratives, les cartes IGN à 1/200 000 et à 1/50 000, les données d'informateurs qualifiés et de terrain. On considère que le pourcentage des localisations approximatives est inférieur à 1 % (2).

(1) Les deux documents présentés *ne figurent pas* la même tranche de population. La carte concerne la population *totale*, l'encart la population *rurale*.

(2) Ce pourcentage est plus élevé dans l'extrême zone nord-est du pays (le pays lobi, non reproduit ici) où l'habitat est mouvant et dispersé.





L'utilisation des sources statistiques et géographiques a donné lieu à un certain nombre de corrections et de précautions portant sur :

- l'actualisation des données statistiques à une année de référence (1965) ;
- la comparaison et le choix entre les deux sources statistiques principales (recensements administratifs et campagne d'éradication de la variole) ;
- l'évaluation de la population urbaine ;
- la distinction entre population urbaine et population rurale.

#### **4. DISPONIBILITÉ :**

Éditeurs : Ministère du Plan, République de Côte d'Ivoire et Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (Orstom), France.

Édition commencée en 1971, achevée en 1979.

Diffusion : Atlas de Côte d'Ivoire, BP 8863, ABIDJAN, Côte d'Ivoire (Institut de Géographie Tropicale, Université d'Abidjan).

Volume de l'édition : 2 000 exemplaires.

Prix de vente de l'Atlas (46 planches cartographiques, 96 pages de textes) : 20 000 francs CFA environ au 1/06/81.

Il n'existe pas de vente par planches séparées.

Reproduit avec l'autorisation du Ministère du Plan et de l'Industrie, Abidjan, Côte d'Ivoire, et de l'Université d'Abidjan ; reproduit avec l'autorisation de l'Orstom.

Quatrième partie

# **La cartographie de synthèse**





## Chapitre 1

# La cartographie morpho-pédologique

## L'exemple de la carte des conditions géographiques de la mise en valeur agricole de Madagascar

La carte morpho-pédologique de Madagascar, présentée ici dans le détail, illustre l'effort de synthèse des cartographes pour répondre aux besoins exprimés par les planificateurs.

Un travail collectif effectué par une équipe de recherche de l'Orstom à Madagascar, entre 1971 et 1973, dans le but de définir les conditions géographiques de la mise en valeur agricole de l'île, illustre l'intérêt d'une approche globale de l'environnement naturel, mettant en évidence à la fois ses potentialités et ses contraintes.

Définie dans le cadre d'un protocole d'accord signé le 12 février 1974 entre le Gouvernement de la République Malgache et l'Orstom par le Ministère du Développement Rural, l'étude consiste en la mise au point d'un instrument de planification et de régionalisation des actions de développement à partir d'un bilan et d'une synthèse des connaissances et des travaux déjà réalisés, le tout présenté sous une forme cartographique pour l'ensemble du pays.

Ce principal objectif se partage en deux sous-objectifs :

— formulation d'un diagnostic sur la situation de l'économie agricole, en distinguant, pour l'ensemble du pays, les *espaces agricoles considérés comme aménageables* de ceux que l'on classe comme *inaméliorables* en raison de leur trop mauvaise qualité ou d'obstacles insurmontables à leur mise en valeur, dans l'état actuel des techniques ; cette classification étant réalisée sur la base de la valeur agronomique des sols, *la restitution de l'information se fait dans le cadre d'unités physiques homogènes identifiées et délimitées par les chercheurs eux-mêmes* ;

— élaboration d'un dispositif d'actualisation permanente des informations statistiques complémentaires collectées dans le cadre de cette étude. A cette fin, il est prévu que sur la base du premier diagnostic général des potentialités et des contraintes du développement agricole, il soit créé une banque des données à la Direction de la Planification du Ministère du Développement Rural.

Dans cette optique, la commune a été identifiée comme le *cadre d'analyse et de traitement de l'information* le plus pertinent pour les modèles de programmation du développement régional.

Pour articuler entre elles les phases de collecte, d'analyse et de programmation des actions de développement, il a donc été nécessaire de recourir au support graphique, seul moyen permettant de fixer les différents cadres de saisie et de restitution de l'information.

## 1. SAISIE DE L'INFORMATION

### 1.1. Les principes d'élaboration de la carte du potentiel des unités physiques

La carte du potentiel des unités physiques constitue le premier thème du travail d'identification des conditions géographiques de la mise en valeur agricole de Madagascar.

Dans la mesure où cette mise en valeur implique des modifications tant du milieu naturel que du milieu humain, l'analyse des conditions physiques doit être confrontée avec les données essentielles concernant la population et l'environnement économique.

L'originalité de cette carte des potentialités agricoles des unités physiques réside dans le point de vue synthétique qui a présidé à son élaboration. Le caractère pluridisciplinaire de l'approche se fonde notamment sur les conclusions de diverses études réalisées sur les Hautes-Terres de Madagascar et qui font apparaître des *corrélations* entre modelé, type de sol et fertilité.

Selon cette approche, la cartographie morpho-pédologique apparaît comme une tentative de délimitation des complexes d'éléments liés génétiquement entre eux, « la définition des unités physiques atteint la pédologie à travers la morphologie » (1).

C'est sous forme d'entités spatialisées et donc cartographiables qui s'apparentent aux géosystèmes de la terminologie de BERTRAND et DOLLFUS, ou aux *land systems* des anglo-saxons, que se réalise l'*intégration des paramètres géologiques et pédologiques, des formes du relief et de la végétation, de la valeur agronomique des sols et de leur sensibilité à l'érosion*.

Différente de l'approche phyto-écologique (école de Montpellier) où la végétation est l'élément central pour identifier les unités physiques et qui exige une forte densité de données acquises, l'approche morpho-pédologique, dont l'élément central est le relief, s'avère compatible avec une situation de relative pénurie et surtout d'hétérogénéité de l'information.

### 1.2. Les sources d'information utilisées

La difficulté essentielle d'une approche synthétique à l'échelle du pays entier réside essentiellement dans le caractère hétérogène de l'information.

Le choix d'un découpage de l'espace sur des bases morpho-pédologiques est notamment conditionné par l'existence d'un fond topographique, principale source d'information sur le relief.

L'utilisation des *cartes topographiques IGN* à 1/100 000 sur l'île de Madagascar s'est cependant heurtée à un certain nombre de difficultés, telles que :

- l'hétérogénéité de l'époque de réalisation de ces cartes et donc de leur facture ;
- l'existence sur 10 % de la superficie de l'île des seules « précartes », sans courbes de niveau ;
- l'équidistance des courbes, trop grande (25 mètres), ne permettait pas toujours de révéler certains contrastes dans des zones à relief peu accidenté.

De la même façon, les *cartes pédologiques*, là où elles existaient, ont servi de « point d'appui » malgré les contrastes tenant à l'*hétérogénéité des échelles et des niveaux de précision, l'hétérogénéité des classifications utilisées*, le caractère souvent local de ces classifications.

Les *cartes géologiques* ont été largement utilisées, notamment comme substituts aux cartes pédologiques, non sans problèmes.

La *carte géomorphologique* des Hautes-Terres centrales à 1/500 000 a servi de cadre de référence pour l'identification de surfaces d'aplanissement détectées sur les données topographiques à 1/100 000.

*Des documents divers* tels que différentes thèses de géomorphologie sur les régions Sud et Est, des ouvrages de base concernant les aspects du milieu naturel, des études agronomiques régionales ou locales et les comptes rendus d'expérimentation en stations, ainsi que les études géographiques existantes, ont également été consultés.

La *photographie aérienne* a comblé les lacunes — notamment celles de la carte topographique — et permis de vérifier la pertinence des unités physiques identifiées et d'effectuer des séries de sondages raisonnés destinés à mieux caractériser les unités physiques par la mesure de la proportion des bas-fonds et des diverses catégories de pentes qui les caractérisent.

*1200 heures de survol aérien* sont venues compléter ce dispositif pour une ultime vérification de certaines zones mal connues et inaccessibles et la construction d'une importante collection de photographies aériennes obliques.

(1) Espace naturel et développement régional, un travail collectif de cartographie sur Madagascar, principes, méthodes, applications. Journées Géographiques de Nice, Orstom, 1975, p. 26.

Enfin, l'expérience et la connaissance préalable des principales données de l'environnement physique et humain par l'équipe des chercheurs en place depuis plusieurs années (jusqu'à 10 ans) doivent être considérées comme un apport essentiel d'information.

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION

Elle pose le problème du cadre de restitution, de la délimitation des unités physiques et de leur classification en fonction des critères d'analyse.

### 2.1. La délimitation des unités physiques

Madagascar a d'abord été divisé en *quatre grands milieux* en fonction des critères climatiques ou écologiques dominants, combinant climat et substratum géologique. Ce sont les milieux Sud, Ouest, Hautes-Terres et Est.

A l'intérieur de ces milieux, ont été définis et délimités des *espaces homogènes, les unités physiques*, sur les 452 cartes topographiques couvrant le pays. En s'appuyant sur la combinaison des éléments figurant sur ces cartes (modelé, altitude et pentes, réseau hydrographique, couvert végétal, etc.) et en les confrontant avec les données cartographiées sur le substratum géologique et les familles des sols, le travail a consisté à individualiser les unités physiques.

C'est à ce stade que se pose le problème du tracé des limites : ce tracé est le produit d'une *combinaison empirique* des différentes informations disponibles spécifiques à chacun des milieux. Ainsi, pour le milieu Est, la délimitation des unités physiques s'est appuyée essentiellement sur les courbes de niveau et les altitudes moyennes, sur les ensembles végétaux et sur les unités morphologiques bien différenciées (érosion, accumulation). A l'Ouest, c'est une combinaison des informations concernant le substratum géologique et le relief qui a servi à établir le tracé des limites des unités physiques. Au Sud, on a essentiellement utilisé l'information sur le relief (altitudes, dénivellations, etc.). Enfin, dans les Hautes-Terres, le tracé des limites s'inspire principalement des données pédologiques et des phénomènes morpho-génétiques (érosion).

La délimitation des différents milieux comme celle des unités physiques ne doit cependant pas masquer le fait que dans de nombreux cas il a fallu introduire un trait de rupture là où l'évolution est difficilement perceptible. Les contours doivent être davantage interprétés comme des transitions ou « marges de discontinuité » que comme des frontières strictes. Notons également que *ce sont les facteurs pédologiques et morphologiques, plutôt que la végétation et le climat, qui ont déterminé, en dernier ressort, la délimitation des unités physiques.*

Sur certaines zones, il a été nécessaire de procéder à des généralisations à partir de zones mieux connues.

Une fois le travail de délimitation réalisé sur la base des cartes topographiques à 1/100 000, chacune des unités physiques a été planimétrée.

### 2.2. La classification des unités physiques

Conformément à l'objectif, la nomenclature des différentes unités morpho-pédologiques intègre les paramètres agronomiques des sols qui les composent. La classification des unités prend donc en compte à la fois la proportion des catégories de terres plus ou moins utilisables qui constituent l'unité physique, et une approximation de leur valeur agronomique respective.

Les critères destinés à préciser la *distribution spatiale des terres utilisables* sont d'ordre topographique. Ils permettent de distinguer :

- les bas-fonds,
- les pentes inférieures à 15 %,
- les pentes supérieures à 15 %, ,
- les pentes inutilisables (roche nue ou pente trop forte).

Des sondages (de 2 à 4 selon l'extension et le degré d'homogénéité de l'unité) ont été établis par planimétrage du calque d'interprétation de la photographie aérienne — considérée comme représentative de l'unité envisagée (en général à 1/25 000) — dans le but d'estimer les proportions de chacune des quatre catégories de terres retenues par rapport à la surface totale de l'unité physique.

En ce qui concerne la *valeur agronomique* des sols, elle a été définie par la combinaison des informations sur leur richesse physico-chimique et sur l'état actuel de leur mise en culture pratiquée à Madagascar.

La valeur d'une unité physique n'est donc qu'une approximation moyenne des valeurs agronomiques des types de sols composant l'unité. *Cette valeur est, de plus, très relative à un état donné du système de mise en valeur.*

Une telle approximation se fonde sur une série d'observations agronomiques très hétérogènes, réalisées soit dans le cadre de l'expérimentation de la recherche agronomique, soit dans celui des opérations de développement rural en cours, ou encore à partir des conclusions de diverses enquêtes et études *in situ*.

Dans le système de classement adopté, la valeur agronomique d'une unité physique dans un « milieu » donné est comparable à celle des unités physiques de même niveau dans les autres milieux. Ce principe, mieux respecté entre les milieux Ouest et Sud d'une part, Est et Hautes-Terres d'autre part, qu'entre ces deux groupes de milieux, nécessite le recours à un équivalent monétaire ; l'évaluation des productions agricoles et animales potentielles pour chaque catégorie de sol dans chacune des unités constitue certes le point faible de la démarche. Elle paraît cependant difficilement évitable dès lors qu'il s'agit d'établir un classement des potentialités *productives* de l'ensemble des superficies disponibles du pays.

La classification des unités physiques a été exprimée graphiquement (cf. *fiche technique*). Elle se compose des éléments suivants :

- titre de l'unité physique et description sommaire,
- localisation géographique et extension de l'unité,
- surface en kilomètres carrés et pourcentage de la surface totale du milieu,
- description géologique,
- description morphologique et topographique,
- description de la végétation,
- description pédologique des sols et aptitudes culturales,
- description de l'utilisation actuelle et recommandations.

### 3. MAÎTRISE ET UTILISATION DE LA CARTE

Dans le prolongement des études pour l'élaboration de la carte du potentiel des unités physiques et dans le but de jeter les bases d'un *système permanent d'observation au niveau de la commune*, des travaux d'*analyse* et de prospective ont été entrepris sur les Hautes-Terres, intégrant les données sur l'environnement humain (thème n°2) et sur l'environnement économique (thème n°3), ainsi qu'un certain nombre de données complémentaires.

Nous en présentons brièvement ici des extraits comme exemple d'une utilisation possible de la zonation morpho-pédologique pour l'*évaluation des équilibres ressources-besoins* et de leur modification selon l'évolution des systèmes de culture.

#### 3.1. L'utilisation de la carte pour l'élaboration d'un indice des potentialités *par unité physique*

L'utilisation du support visuel cartographique fournit les moyens de comparer différents scénarios de mise en valeur agricole, par région.

Dans l'exemple présenté ici, deux hypothèses sont confrontées à propos des transformations à moyen terme des systèmes de culture.

Dans un cas, on part de l'hypothèse formulée par l'URER (1) qui préconise la mise en culture des parties les plus planes des collines ; dans l'autre cas, de l'hypothèse selon laquelle ce sont les pentes les plus fortes qui, « décapées de produits infertiles de l'altération tropicale, offrent les sols les mieux structurés, les plus résistants à l'érosion, les moins appauvris en éléments minéraux », et sont les plus aptes à la mise en culture. On aboutit ainsi à deux classements distincts du potentiel des unités physiques.

Graphiquement, le planificateur dispose donc de la visualisation des zones favorables à tel ou tel type de mise en valeur. *Ces zones sont classées en fonction d'un indice des potentialités physiques*, intégrant notamment l'hypothèse sur l'évolution à moyen terme des systèmes de culture.

(1) *Unité Régionale d'Expansion Rural*, dont l'activité s'étend à l'ensemble de l'Imerina central.

### 3.2. Calcul d'un indice de potentialité *par commune* à partir de l'indice par unité physique.

Sur la base de ces différents classements du potentiel des unités physiques, et pour répondre aux exigences de la programmation des actions de développement rural, un *indice des potentialités au kilomètre carré* a ensuite été calculé *au niveau de la commune*.

A chaque hypothèse sur les scénarios de mise en valeur agricole de la région correspond une représentation graphique qui met en évidence des communes ou groupes de communes homogènes du point de vue de leurs potentialités agricoles.

La confrontation, avec les données sur l'environnement humain, a permis d'établir, en divisant l'indice de potentialité par la densité rurale au kilomètre carré, un *quotient de disponibilité par habitant rural*.

*Enfin, la superposition des cartes de potentialités par commune et des carte de quotient de disponibilité par habitant permet la synthèse de l'analyse ressources-besoins en termes spatiaux.*

Ces différentes informations *localisées* constituent les modalités de réponses destinées à éclairer une politique d'aménagement du territoire, en fournissant des éléments pour une politique de migration des populations.

### 3.3. Etablissement de cartes analytiques sur les excédents ou déficits de densité en fonction de l'indice des potentialités par commune

Dans une seconde phase de l'utilisation, en aval des travaux de zonage morpho-pédologique, il a été établi des cartes représentant les déséquilibres actuels des densités selon les hypothèses retenues sur l'évolution des systèmes de mise en culture et en prenant comme base de revenu minimum, le revenu correspondant au seuil de décollage économique en milieu rural admis par la FAO, soit 25 000 CFA par habitant et par an.

De l'analyse de ces résultats, il apparaît que le décideur devra choisir entre deux types de recommandations pour la politique économique agricole régionale :

- dans le cas d'une mise en culture des seules pentes faibles, la plus grande partie des Hautes-Terres apparaît comme surpeuplée et une politique d'émigration systématique doit être envisagée ;
- selon la seconde hypothèse, qui consiste à prévoir l'aménagement des sols favorables situés sur des pentes supérieures à 15 %, la carte met en évidence tout autre chose. Les Hautes-Terres possèdent en elles-mêmes suffisamment de potentialités pour résoudre leurs problèmes et la politique économique doit consister à orienter les systèmes de culture sur versant vigoureux vers des productions plus riches et bien adaptées au climat, telles que les arbres fruitiers, mûriers, théiers et caféiers, etc.

La tentative d'intégration des données locales et régionales dans l'environnement naturel, humain et économique a mis en évidence l'intérêt du postulat géomorphologique dans l'identification et la délimitation d'ensembles homogènes cohérents et cartographiables, véritable cadre de restitution de l'information.

C'est dans ce cadre que la géographie, « maîtresse d'œuvre », réussit à mener à bien la collaboration pluridisciplinaire. C'est également à partir des unités physiques individualisées que s'élaborent les réponses au niveau de l'unité de programmation et d'aménagement de l'espace rural que constitue la commune.

La représentation synthétique du potentiel des unités physiques évite notamment au décideur d'avoir à arbitrer entre divers ordres de contraintes à la mise en valeur de l'espace, cartographiés séparément.

Une telle démarche procède « d'une réorientation proprement scientifique, d'une sorte de retournement du sectoriel vers le spatial ; en témoignent le succès de l'écologie, la territorialisation de l'économie et, en géographie, le renouveau d'attention porté au paysage et à sa taxonomie\* cartographique » (1).

Elle a l'avantage de se porter immédiatement sur le terrain du décideur, en particulier dans le domaine de la politique de l'aménagement du territoire.

(1) Gilles SAUTTER, préface de la notice de la carte des conditions géographiques de la mise en valeur agricole de Madagascar, thème 1, 1981.

## FICHE TECHNIQUE

### **CARTE DES CONDITIONS GÉOGRAPHIQUES DE LA MISE EN VALEUR AGRICOLE DE MADAGASCAR, thème 1 : potentiel des unités physiques, © Orstom.**

#### **PRÉSENTATION :**

Rédaction et publication à 1/1 000 000 issues d'une carte à 1/500 000, sous la direction de G. DANDOY, Orstom, Paris, 1981.

Trois planches couleurs pliées sous pochette 16 x 24, avec notice de 187 pages, figures, croquis et bibliographie. Les trois planches constituent la couverture complète de la République Malgache, soit 586 500 km<sup>2</sup> environ. Dimensions de chaque planche dépliée : format utile 87 x 55 cm, soit 40 degrés carrés.

La *carte des conditions géographiques de la mise en valeur agricole de Madagascar* est constituée d'un ensemble comprenant trois thèmes différents :

- thème 1 : potentiel des unités physiques (l'exemple présenté ici) ;
- thème 2 : densité de la population ;
- thème 3 : infrastructures économiques.

Seul le thème 1 a été publié. Les trois thèmes ont fait l'objet d'un tirage restreint provisoire en 1973.

#### **ILLUSTRATION :**

Localisation : feuille *Centre*, région orientale entre Antananarivo (hors du cadre figuré ici) et Tamatave. Surface couverte : 211 x 295 km, soit 62 000 km<sup>2</sup> (5 degrés carrés environ).

Thèmes et modes de représentation : à l'intérieur des quatre grands milieux écologiques (correspondant aux régions du Sud, de l'Ouest, des Hautes-Terres et de l'Est), chaque unité physique est identifiée sur une échelle comprenant 24 niveaux (par exemple : *collines calcaires ou gréseuses peu érodées, bas-fonds, roches à nu*) auxquels correspondent des caractéristiques pédologiques (*couverture locale de sable roux, sols d'apport...*). À l'intérieur de cette échelle, la couleur permet de définir des groupes d'unités physiques de valeur voisine au sein desquels la nuance de la couleur ou une trame caractérisent la valeur de chaque unité.

On a distingué par un trait renforcé les unités physiques où une amélioration de l'utilisation agricole est envisageable. On a également souligné par des signes distinctifs les unités physiques pour lesquelles l'utilisation agricole se heurte à des difficultés liées au relief et celles qui exigent des mesures de protection.

#### **OBJECTIF ET ÉLABORATION :**

La carte est destinée à mettre en évidence les complexes morpho-pédologiques par leur délimitation géographique et leur classement en fonction de la valeur agronomique des sols qui les composent. Pour plus de précision on se reportera aux paragraphes précédents du même chapitre.

La carte a été élaborée en deux années (1972-1973) à partir d'études sur le terrain et des sources cartographiques existantes (cartes topographiques IGN à 1/100 000, cartes pédologiques en couverture partielle, cartes géologiques du BRGM à 1/1 000 000 et 1/500 000, cartes géomorphologiques), à quoi il faut ajouter l'expérience et la connaissance du milieu des 25 personnes environ qui ont collaboré, à temps plein ou à temps partiel, à cette réalisation.

La délimitation des unités physiques a été effectuée à 1/100 000 puis réduite à 1/500 000 en 12 planches. Le tirage a été effectué en noir et blanc et colorié à la main (5 exemplaires de l'ensemble).

Ce n'est que plus tard (1978) qu'a été entreprise la publication à 1/1 000 000 en trois planches.

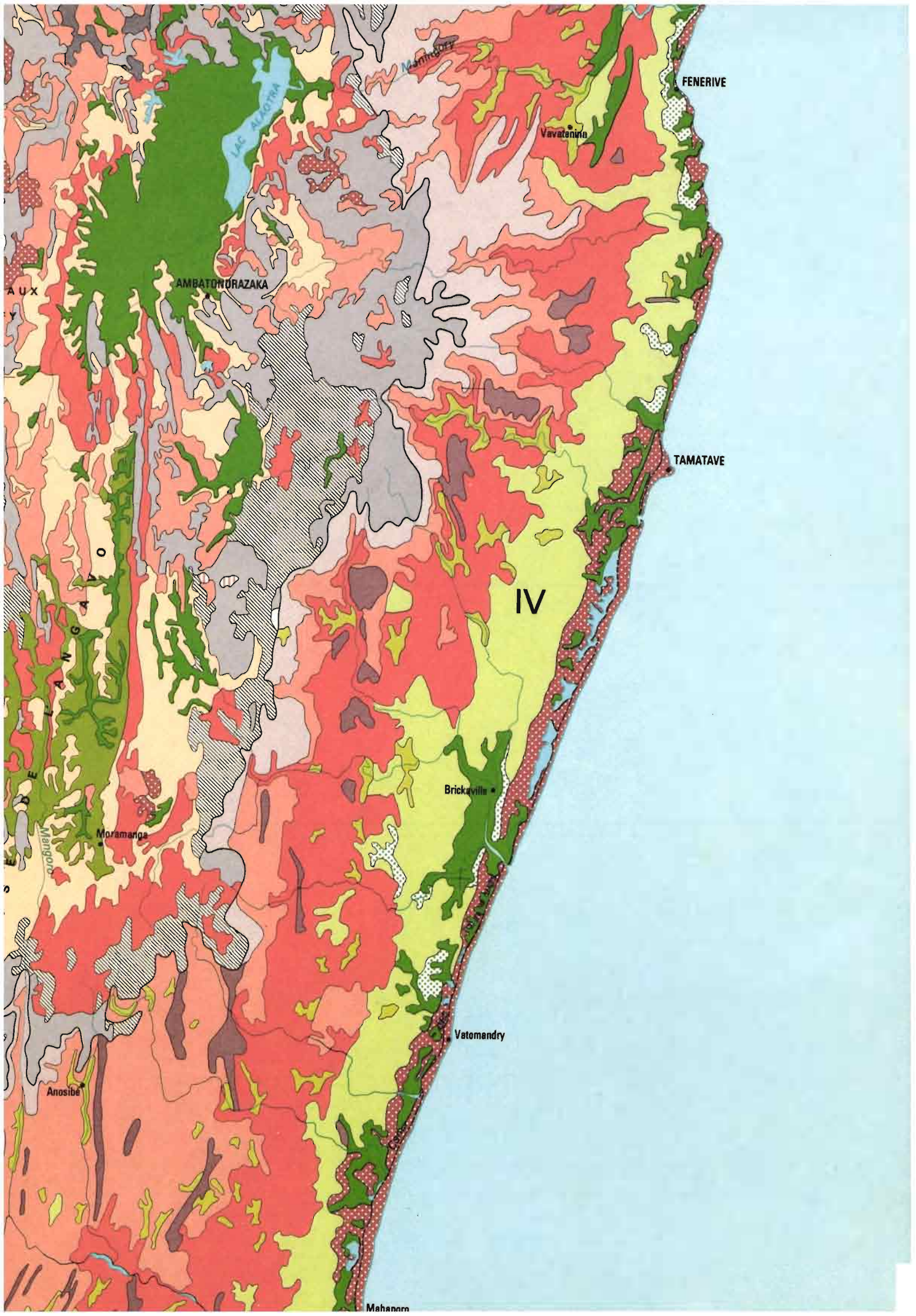
Coût estimé de l'ensemble de l'opération : 2 à 3 millions de FF.

#### **DISPONIBILITÉ DES TRAVAUX :**

Les documents de prépublication à 1/500 000 sont consultables à Bondy et à Madagascar ; les minutes à 1/100 000 sont consultables à Madagascar.

La carte à 1/1 000 000 et sa notice sont disponibles à l'Orstom, service central de documentation, 70-74 route d'Aulnay, 93140 BONDY. Tirage : 800 exemplaires.





FENERIVE

Vavatenina

AMBATONORAZAKA

TAMATAVE

IV

Brickville

Moramanga

Vetomandry

Anosibe

Mahanoro



## Chapitre 2

# Les cartes d'aptitudes

Les cartes d'aptitudes sont souvent rédigées à partir de l'information contenue dans plusieurs autres cartes et constituent une synthèse destinée à un objectif très précis. Les cartes utilisées pour la rédaction des cartes d'aptitudes sont les cartes pédologiques, morpho-pédologiques, géologiques, les cartes d'utilisation du sol ; ces dernières présentent l'information sous forme qualitative ou quantitative, rarement la « valeur potentielle » attribuée à un espace ou à un caractère. Les cartes d'aptitudes, par contre, sont destinées à donner des informations sur la *valeur* d'un territoire ou la valeur d'un caractère spécifique à ce territoire *en fonction d'une destination toujours précisée*.

La rédaction d'une carte d'aptitudes implique donc que soient parfaitement définis :

- en tout premier lieu, l'*objectif* justifiant la mise en œuvre de la carte d'aptitudes ;
- ensuite, les multiples éléments dont la synthèse permettra de définir des unités de territoire de qualité homogène en fonction de la destination prévue.

*Une carte d'aptitudes traduit donc la capacité d'un territoire à répondre à une destination donnée.*

Destinées à l'aménagement plutôt qu'à la planification, c'est-à-dire à l'intervention au niveau régional et local plutôt qu'au niveau national, la plupart des cartes d'aptitudes sont rédigées à grande échelle : 1/50 000, 1/20 000.

Les objectifs de développement auxquels les cartes d'aptitudes apportent leur concours sont évidemment très variés : ils appartiennent à tous les domaines de l'aménagement mais la plupart d'entre eux sont d'ordre agronomique et d'ordre géotechnique. Parmi les premiers, citons les programmes de reboisement et d'exploitation forestière, l'agriculture (en général ou, de façon spécifique, telle ou telle culture), le pâturage, la mécanisation agricole, les préoccupations d'environnement (zones sensibles ou vulnérables à protéger)... Parmi les seconds : la construction d'habitats et d'équipements (industriels, routiers et ferroviaires...), les grands travaux d'intérêt national et international (barrages, aéroports, lignes électriques à haute tension...).

### 1. SAISIE DE L'INFORMATION :

Une carte d'aptitudes se définit toujours par rapport à une activité humaine utilisatrice du milieu (1). Ce milieu est naturel et spontané ou déjà modifié par l'intervention humaine. Les informations nécessaires à la rédaction de la carte appartiennent donc à la fois à la description et à l'analyse du milieu naturel, à la description et à l'analyse des occupations et utilisations de l'espace par l'homme.

(1) Ce paragraphe a été rédigé en partie grâce aux notes et rapports de MM. N. FEDOROFF, B. FOURNIER, Y. PEYRE, T. CESTRE, Institut National Agronomique (INA), et Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Île-de-France (IAURIF).



Selon les objectifs précis de la carte, on choisit les éléments dont la corrélation permet d'obtenir l'information utile en établissant un classement de leur importance relative.

Ces éléments appartiennent à des familles thématiques diverses.

#### a) Les éléments pédologiques

Pour toutes les cartes d'aptitudes où c'est une valeur agronomique potentielle qu'il importe de connaître, c'est l'information sur les caractères pédologiques du territoire qui est retenue en premier lieu. Outre les caractères physico-chimiques du sol (indiqués par les cartes pédologiques), on s'intéresse sur les contraintes à certaines formes d'agriculture (sels minéraux, pierrosité, caractéristiques de drainage et d'aération, traduction des caractères pédologiques en termes de fertilité du sol).

L'importance de l'agriculture dans les projets de développement et celle de l'agronomie dans la définition de l'aptitude agricole, l'importance de la pédologie dans la qualification agronomique des terres, expliquent que les cartes d'aptitudes soient souvent des « cartes d'aptitude pédologique » dans lesquelles n'entrent pas ou entrent peu les éléments que nous citons ci-après.

#### b) Les éléments topographiques

La topographie, et en particulier les pentes, constituent pourtant un élément important de la valeur d'un territoire en fonction d'un objectif agricole, pastoral, forestier ou géotechnique : de la pente dépendent la fragilité des sols, les conditions de drainage, l'évolution des particules de surface et leur dynamique ; ceci est particulièrement important pour les destinations agricoles et les transformations technologiques telles que la mécanisation.

#### c) Les éléments du climat

La capacité du territoire à répondre à l'objectif envisagé dépend étroitement de l'évolution annuelle ou saisonnière des réserves d'eau dans le sol, des contraintes liées à la sécheresse, au gel, à l'ensoleillement, aux inondations... Il est donc indispensable de bien connaître dans le détail les caractéristiques climatiques du territoire et leurs conséquences.

#### d) La géologie

Souvent essentielle dans les projets à caractère géotechnique, la géologie doit être prise en compte : la proximité du substrat rocheux, sa résistance et sa dureté, ses caractères chimiques, les ressources exploitables qu'il est susceptible d'offrir sont des éléments qui doivent entrer dans la synthèse, ainsi que les informations sur les eaux de surface et les eaux souterraines.

#### e) Le milieu végétal

Dans toute opération visant à rechercher les qualités d'un territoire pour l'élevage ou la production forestière, la végétation doit être soigneusement étudiée ; il en est de même si une opération agricole entend conserver ou promouvoir la croissance d'espèces utiles spontanées en même temps que celle des espèces cultivées.

#### f) La présence humaine

Enfin, dans les territoires où l'implantation humaine existe, il est absolument indispensable de tenir compte de ses caractères : répartition de l'habitat, modes d'occupation et d'exploitation du territoire, ouvrages construits, vestiges archéologiques, paysages ou grands sites remarquables, etc. qui peuvent constituer soit des avantages pour l'objectif envisagé, soit des entraves à sa réalisation ou à la production souhaitée.

Une cartographie d'aptitudes destinée à l'introduction ou au développement de la riziculture en milieu montagnard, par exemple, exigera des informations sur la qualité des sols en fonction des besoins du riz (sols profonds, sols minces ou inexistantes), sur les pentes (aménageables ou non) et sur les bas-fonds inondables, éventuellement sur l'ensoleillement (pentes orientées au sud et pentes orientées au nord), les ressources d'origine pluviale, les sites convenant à l'édification de barrages si le projet prévoit des équipements d'irrigation, la quantité et la distribution de la population concernée, sa capacité en temps de travail et son niveau technologique, les contraintes sociales et foncières susceptibles d'alourdir le coût technique du programme.

Les cartes d'aptitudes, qui sont réalisées en fonction d'objectifs précis, fournissent des informations déjà analysées. De la même façon que les cartes morpho-pédologiques qui donnent des informations sur la nature des sols mise en rapport avec les contraintes morphologiques (pentes, présence de l'eau, etc.), que les cartes d'utilisation de l'espace qui décrivent les unités à l'intérieur desquelles s'exercent de façon homogène les activités humaines et les contraintes liées à ces activités, les cartes d'aptitudes déterminent un zonage d'aires d'égales aptitudes pour une activité donnée.

A l'origine de toutes les cartes d'aptitudes, on trouve une source d'information irremplaçable qui est la photographie aérienne et, à un degré moindre jusqu'ici, les données de la télédétection spatiale. Dans la plupart des cas, les photographies aériennes sont utilisées pour sélectionner les *éléments*

et les *types de contraintes* qui seront mis en évidence de façon à adapter le mieux possible les choix de l'information à la destination de la carte.

L'étude attentive de la couverture aérienne, la prise en compte des informations thématiques par l'intermédiaire de leurs cartographies doivent être complétées par des enquêtes sur le terrain qui peuvent donner des informations sur la *valeur* des unités du territoire, telle qu'elle est perçue par ses habitants et exploitants eux-mêmes ; c'est ainsi que certains bas-fonds humides du Sahel ouest-africain sont considérés comme dépourvus du moindre intérêt agricole par les populations voisines, en dépit de la présence de l'eau et d'une fertilité reconnue, parce que ces terres argileuses et compactes ne peuvent être travaillées avec les outils actuellement disponibles dans les villages.

Cette notion de valeur peut être soit d'ordre agronomique (*l'agronomie vernaculaire* citée dans le chapitre sur la végétation) ou de nature juridique et fiscale (les prix du terrain, les modes de transmission du droit d'usage, les mutations foncières...). De telles données pèsent parfois lourd dans la capacité du territoire à répondre à l'objectif.

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION

Les cartes d'aptitudes restituent la capacité d'un territoire à répondre au développement d'activités nouvelles réintroduites ou revivifiées. Elle répondent par une information du type *oui-non* : telle unité de territoire est susceptible de porter l'activité en question, telle unité de territoire ne l'est pas.

Dans l'ensemble cité plus haut (un programme de riziculture de montagne) les hauts de pente raides aux sols pierreux et éloignés des sources d'irrigation sont évidemment considérés comme non aptes ; les fonds de vallées régulièrement inondés sont considérés comme *aptes*. Entre les deux, il convient de fixer le *seuil d'aptitude*, seuil qui dépend étroitement des investissements qu'il est possible d'envisager. Si un aménagement rudimentaire d'irrigation des fonds de vallées par gravité est le seul prévu, aucune pente n'est apte ; si des barrages et des stations de pompage sont prévus, les pentes agronomiquement acceptables en fonction de leurs caractères pédologiques, de leur inclinaison, de leur orientation, sont incluses dans le territoire considéré comme d'aptitude positive.

Or, les investissements techniques sont eux-mêmes dépendants des résultats agricoles attendus, en termes de rendement et de valeur des récoltes.

Une réponse simple (*oui*, telle unité de territoire est apte à telle opération, *non*, telle unité ne l'est pas) requiert donc une information fort complexe dès lors que le territoire en question présente des contraintes inégales et multiples.

La carte d'aptitudes présente alors ces nuances de sorte que le planificateur, l'aménageur, dispose d'une fourchette de possibilités entre lesquelles il peut faire des choix.

Une première façon de cartographier ces nuances est de représenter simplement la nature qualitative des contraintes (1).

Une bonne connaissance du territoire est indispensable pour interpréter une telle carte en termes d'aptitudes, mais la part d'interprétation du rédacteur est limitée, ce qui permet à l'utilisateur de l'employer dans le cadre d'alternatives variées et de conserver un choix ouvert de décisions. Plus que d'une carte d'aptitudes proprement dite, on parle de carte de contraintes.

La carte d'aptitudes, seconde possibilité de présenter les nuances au décideur, est le résultat d'une interprétation plus précise mais plus rigide. *Elle donne plusieurs niveaux (plusieurs classes) de capacité, justifiés par l'importance des contraintes.*

Les cartes d'aptitudes à l'agriculture figurent sept classes au maximum, généralement moins. Voici la description de ces sept classes qui peuvent être reprises sans modification pour qualifier la capacité d'un territoire à répondre à n'importe quelle activité :

- Classe 1, excellente aptitude : il n'existe aucune contrainte à l'activité envisagée dans aucun domaine. L'activité envisagée est possible avec des rendements optimaux et au moindre coût.
- Classe 2, très bonne aptitude : il existe une ou plusieurs contraintes mais elles sont mineures. L'activité est possible, les rendements optimaux ne seront pas atteints ou bien les coûts de production seront plus élevés que dans la classe 1.
- Classe 3, bonne aptitude : il existe plusieurs contraintes mineures, il peut aussi exister une contrainte majeure mais elle est susceptible d'être annulée ou atténuée. L'activité envisagée reste possible mais les rendements seront peu élevés et les coûts de production plus élevés que dans les classes 1 et 2.
- Classe 4, aptitude moyenne : il existe plusieurs contraintes majeures, modifiables ; il existe des contraintes mineures. Certains aspects de l'activité envisagée deviennent aléatoires ou difficiles.

(1) Voir l'exemple présenté dans l'illustration de ce chapitre : cartographie des savanes favorables à la reforestation, littoral congolais au sud du Kouilou.

- Classe 5, mauvaise aptitude : il existe une contrainte majeure non modifiable, en général associée à d'autres contraintes. Certains des aspects de l'activité envisagée sont sans intérêt.
- Classe 6, très mauvaise aptitude : il existe plusieurs contraintes majeures non modifiables, en général liées, qui empêchent l'activité envisagée dans la plupart de ses aspects.
- Classe 7, inaptitude : une contrainte absolue rend impossible l'activité envisagée.

Il n'est pas rare qu'on souhaite figurer sur une seule carte l'aptitude à plusieurs activités voisines ou complémentaires (agriculture fourragère et élevage, par exemple). Dans ce cas, le nombre des classes est réduit à quatre :

- Classe 1, les activités sont possibles dans des conditions optimales ou dans de bonnes conditions (classes 1 et 2 ci-dessus).
- Classe 2, les activités sont possibles à condition de procéder à des modifications du milieu : des travaux peu onéreux par rapport aux rendements attendus permettraient, par exemple, de lever une contrainte majeure (classes 3 et 4).
- Classe 3, les activités envisagées auront des rendements très incertains, aléatoires ou faibles car les contraintes majeures ne peuvent être modifiées (classes 5 et 6).
- Classe 4, les activités envisagées sont impossibles (classe 7).

La plupart des cartes d'aptitudes sont rédigées à partir des contraintes naturelles, objectivement observables. En fait, elles intègrent rarement les contraintes économiques, les technologies, les structures socio-économiques. Si certains de ces derniers éléments, très variables dans le temps par définition, viennent à être modifiés, la carte n'est plus valable : dans l'un des exemples cités ci-dessus, celui des bas-fonds fertiles inutilisés, il suffit d'amener à pied d'œuvre un puissant tracteur et de le mettre à la disposition des cultivateurs pour que des terres auparavant considérées comme « inaptées à l'agriculture » (ou presque) soient classées dans la catégorie la plus favorable.

Une carte d'aptitudes peut être transcrite en termes de coûts et rendements. Chaque classe d'aptitude est alors traduite par une fourchette des rendements et des coûts maximaux et minimaux : on peut ainsi traduire une carte d'aptitude à la culture du riz en rendements de la production attendue.

Les cartes d'aptitudes les plus couramment rédigées concernent des activités agricoles qui exigent des investissements techniques préalables ou qui ne sont rentables qu'à terme, c'est-à-dire qui ne peuvent guère être envisagées sans précautions : aptitude à telles espèces exigeantes ou obligatoirement irriguées, à l'arboriculture, à la reforestation...

### 3. MAÎTRISE ET UTILISATION DE L'INFORMATION

Les cartes d'aptitudes se justifient donc quand on veut prendre toutes les précautions afin de ne pas rencontrer un échec dans la mise en place d'une activité.

Elles sont *utiles* lorsqu'il s'agit d'introduire un type d'activité bien défini dans un territoire hétérogène où les contraintes naturelles sont nuancées et variées, généralement plus décisives que les contraintes liées à l'occupation humaine.

Elles sont *indispensables* lorsqu'il s'agit de favoriser le développement d'une activité déjà existante dans un milieu où les contraintes liées à l'occupation humaine déjà en place sont notables, où le développement de l'activité en question risque de la faire entrer en concurrence avec d'autres : c'est le cas notamment dans les milieux suburbains, qui posent toujours de graves problèmes d'aménagement. En effet, à la périphérie des villes et des espaces densément peuplés, s'installe une concurrence entre les activités et les modes d'occupation.

Il est alors nécessaire de régulariser la concurrence en affectant à chaque unité du territoire la destination optimale compte tenu des contraintes et de la valorisation par les activités choisies. En principe, c'est de la synthèse des contraintes naturelles et de la valorisation du territoire par les activités et la destination que doivent être issus les Plans d'Occupation des Sols (P.O.S.) qui sont censés régulariser la concurrence entre les occupations du sol au niveau des communes.

En superposant les cartes d'aptitudes du même territoire, on constate que certaines aires sont favorables à toutes les activités envisagées alors que d'autres ne le sont à aucune : tels bas-fonds bien drainés sont favorables à la culture des céréales en sec, à la riziculture aménagée, à la canne à sucre, ou à la production intensive de fourrage..., tels plateaux ne peuvent accueillir que des céréales en sec à faible rendement ou des pâturages maigres...

L'affectation des zones très favorables et des zones peu favorables à l'expansion des activités résulte alors d'un choix d'ordre politique auquel l'informateur (le rédacteur des cartes d'aptitudes) ne participe pas.

La comparaison entre cartes d'aptitudes montre que certaines activités sont compatibles entre elles et que d'autres ne le sont pas : en milieu suburbain, la progression de l'urbanisation n'est pas compatible avec le maintien d'activités agricoles ; les zones les plus riches de potentialités sont souvent convoitées par l'urbaniste... En effet, l'urbanisation résidentielle rentabilise très largement un territoire à condition que des critères d'environnement (qui sont davantage liés à l'agrément des habitants qu'à la productivité du terrain) soient respectés : espaces verts, éloignement des axes de circulation bruyants, diversité des paysages... Toutes formes d'occupation du sol incompatibles avec certaines activités urbaines (industries, habitat dense, circulation, etc.).

La carte d'aptitudes ne constitue donc pas toujours une solution aux problèmes d'occupation et d'utilisation du sol, mais elle est souvent un *révélateur* de ces problèmes.

La carte d'aptitudes peut conduire à des *cartes d'impact* et des *cartes de sensibilité*. Ces cartes sont rédigées à partir de l'évaluation des *effets* de l'action envisagée sur le milieu naturel et humain et des *risques* qu'elle lui fait courir.

Les cartes d'impact introduisent le facteur temps dans la notion d'aptitude et donnent une idée de *l'évolution de l'aptitude* : une aire classée comme ayant une bonne aptitude à l'irrigation peut devenir à terme impropre à l'agriculture — donc absolument inapte — si l'eau d'irrigation contient des sels minéraux en trop grande quantité... La fermeture des axes de parcours du bétail, suscitée par une opération agricole en projet, peut annuler les bonnes aptitudes à l'élevage du territoire voisin...

Effets et risques sont classés en mineurs, moyens, élevés et intenses. La synthèse des divers effets et risques constitue la carte de sensibilité dont les éléments se classent de la même façon que ceux des cartes d'aptitudes.

Les cartes d'impact et les cartes de sensibilité introduisent la notion de modification durable du milieu par l'action envisagée : surpâturage, incendies de forêts, dégradation des sols... Accompagnant les cartes d'aptitudes, elles mettent en évidence les conséquences spatialisées des opérations de planification et d'aménagement et permettent d'envisager les mesures de correction jugées utiles. Les cartes d'effets ou de risques et les cartes de sensibilité constituent donc l'une des informations de base indispensable au *suivi* d'une opération ou d'une intervention.



## FICHE TECHNIQUE

### CARTOGRAPHIE DES SAVANES FAVORABLES À LA REFORESTATION, LITTORAL CONGOLAIS AU SUD DU KOUILOU

#### PRÉSENTATION :

Echelle : 1/50 000.  
Centre Technique Forestier Tropical, Paris, 1982.  
Deux cartes en noir et blanc, reproduction diazo, format utile de chacune 94 x 64 cm.  
Compte tenu des aires non concernées par le sujet et situées dans le périmètre de la carte (zone urbaine, état voisin, océan), le territoire représenté est d'environ 750 km<sup>2</sup>.

La *carte des savanes favorables à la reforestation* est une carte d'aptitudes au reboisement et à l'exploitation forestière destinée à mettre en évidence les aires favorables, les aires moins favorables et les contraintes majeures. Elle s'inscrit dans le cadre d'un projet d'usine de pâte à papier à Pointe-Noire, qui serait alimentée par des plantations d'eucalyptus. Le programme, pour l'instant, n'est envisagé que localement.

#### RÉALISATION ET COÛTS :

L'étude a été réalisée par interprétation de photographies aériennes en émulsion panchromatique noir et blanc, mission spécifique effectuée en 1981 à 1/30 000 et commandée par la société ELF CONGO. Le fond de carte a été dressé à partir de la couverture aérienne de 1976 par la société SOFRATOP pour le compte d'ELF CONGO.

Deux cartes ont ainsi été réalisées, l'une pour la zone nord, l'autre pour la zone sud (exemple présenté ici).

Pour l'ensemble de ces deux cartes, les coûts et les détails de préparation ont été les suivants :

- photo-interprétation et mesure des pentes : deux personnes pendant un mois et demi, soit 40 000 FF.
  - rédaction, restitution et dessin : deux personnes pendant quatre mois, soit 75 000 FF.
  - travaux photographiques (agrandissements et réductions), reproduction, achat du fond de carte : 15 000 FF.
- Au total, 130 000 FF.

#### ILLUSTRATION :

Localisation : aire située à 20 kilomètres environ à l'est de la ville de Pointe-Noire, sur la rive droite du fleuve *Loeme*. L'échantillon présenté ici représente sur le terrain un rectangle de 10,5 x 14,75 km, soit 155 km<sup>2</sup> environ. La carte présente trois classes d'informations, en deux plages de gris et en surcharges noires.

a) Les aires de savane favorables à la replantation ou présentant peu de contraintes sont figurées en deux tons de gris différenciant la densité arborée actuelle (moins de 10 arbres à l'hectare et plus de 10 arbres à l'hectare). Cette dernière classe est considérée comme plus contraignante et élevant les coûts d'exploitation car il faudra déboiser les peuplements actuels avant de planter les eucalyptus.

b) Les aires peu favorables à la replantation et à l'exploitation sont figurées en surcharge sur les classes ci-dessus. Trois contraintes considérées comme importantes ont été retenues : les pentes supérieures à 15 %, sur lesquelles les plantations futures ont peu de chances de se développer et qui gêneraient l'exploitation ; les aires dénudées et rocheuses sur lesquelles les plantations sont impossibles ; les aires plantées de manguiers et de palmiers, arbres actuellement exploités et dont l'abattage est impossible avec les moyens dont disposent les exploitants actuels.

c) Enfin, les aires actuellement intensément occupées ont été figurées en blanc car elles sont tout à fait en dehors du programme de reforestation : plantations actuelles (non présentes ici), forêt, terroirs cultivés et zones marécageuses.

Le fond de carte, très succinct, figure les principales voies de communication (non présentes ici), les aires bâties (villages), le réseau hydrographique.

L'ensemble constitue une carte très simple, aisément lisible, aisément reproductible à peu de frais, ce qui permet aux utilisateurs d'y porter éventuellement les indications complémentaires utiles à leurs travaux.

On remarquera que c'est le *type de contrainte* qui est mis en évidence plutôt que le niveau de contrainte (contrainte majeure, contrainte moyenne, etc.). L'utilisateur-demandeur, familier du territoire, déduit implicitement de la *nature* de la contrainte (boisement existant, pente, roche, marécage...) son importance relative et absolue dans le cadre des opérations projetées.

#### DISPONIBILITÉ :

Centre Technique Forestier Tropical  
45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle  
94130 NOGENT-SUR-MARNE (France).

Reproduit avec l'autorisation du Centre Technique Forestier Tropical.





## Chapitre 3

# Occupation et utilisation du sol

L'occupation du sol et l'utilisation du sol constituent ensemble l'une des bases de l'information nécessaire au planificateur et à l'aménageur.

Les deux notions sont difficilement séparables quand le propos est de restituer, dans le cadre d'opérations de développement, les effets de l'intervention humaine sur un territoire.

L'analyse de *l'occupation du sol* restitue plutôt les aspects fonctionnels du territoire organisé en fonction de la production : agriculture, élevage, espaces consacrés aux activités industrielles, commerciales ou minières, espaces consacrés aux activités de transport, à l'habitat. S'y ajoutent les caractères des espaces non occupés et souvent des indications sur les motifs de non-occupation (marécages, glaciers, pentes trop fortes, etc.).

L'analyse de *l'utilisation du sol* traite des caractères spécifiques du *paysage rural* :

- organisation du terroir (forme et disposition des parcelles, de l'habitat, des axes de communication) ;
- systèmes agricoles (terres cultivées, pâtures, forêts, jachères, irrigation, arboriculture...).

La description et l'analyse des *systèmes de production* (façons culturales, régimes fonciers, technologies) peut être considérée comme appartenant à la fois à la notion d'occupation du sol et à celle d'utilisation du sol.

Dans ce qui suit, les deux notions ne sont pas séparées.

L'ensemble occupation du sol et utilisation du sol présente le tableau complet de l'économie et de la société occupant et tirant parti d'un territoire. Cependant, le nombre des thèmes cartographiés et par conséquent la finesse d'analyse dépendent du rapport entre la taille du territoire à cartographier et les dimensions de la carte, c'est-à-dire de son échelle : selon que l'échelle est grande ou petite on exigera une information préalable détaillée ou générale, on obtiendra une analyse plus ou moins fine.

En outre, la complexité des phénomènes d'occupation-utilisation du sol, l'abondance des sujets susceptibles d'être cartographiés (ou nécessaires à la cartographie envisagée) obligent à prêter une attention particulière à la lisibilité de la carte et à la rédaction de sa légende.

## 1. SAISIE DE L'INFORMATION

Les cartes d'occupation et d'utilisation du sol fournissent des indications quantitatives et qualitatives : elles doivent pouvoir répondre aux questions *où ? quoi ? combien ?* L'information préalable à leur rédaction doit donc elle aussi être à la fois spatialisable, qualitative et quantitative. Elle provient des données de terrain et des données de la télédétection.

## 1.1. Les données de la télédétection

Les photographies aériennes fournissent les informations les plus nombreuses et les plus précieuses pour la rédaction des cartes d'occupation et d'utilisation du sol. On peut utiliser les photographies existantes ou réaliser une mission aérienne spécifique dont les caractéristiques (échelle, date de prise de vue, émulsion photographique) (1) sont fixées en fonction des objectifs poursuivis et en tenant compte des contraintes de coût et de délai. Les photographies aériennes non établies pour la circonstance apportent malgré tout des informations très satisfaisantes.

Deux opérations réalisées au Niger offrent un exemple d'utilisation de missions aériennes spécifiques pour la cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol.

a) Dans le département de Dosso, une couverture aérienne à 1/12 500, réalisée pendant la saison agricole (juin à octobre, ce qui a posé des problèmes de couverture nuageuse), a permis de tracer une carte d'utilisation du sol par photo-interprétation et après échantillonnage sur le terrain. La carte présente la nature des cultures pratiquées (mil, haricot, arachide, sorgho, canne à sucre...), les associations culturales (mil et haricot, sorgho et haricot), les jachères, les terres incultes et les terres incultivables, les espaces occupés par des objets non agricoles (villages, routes, surfaces aquatiques). D'après cette carte, des mesures de surfaces cultivées ont été effectuées, et ont donné, après mise en rapport avec les évaluations de la production réelle, des indications quantitatives sur les rendements agricoles.

Réalisée dans un but bien précis et pour répondre à des questions spécifiques relatives aux surfaces cultivées en telles espèces ainsi que pour connaître les possibilités d'extension du domaine agricole productif, l'opération constituait donc une étude partielle d'utilisation du sol.

b) L'autre exemple est celui d'une cartographie de l'utilisation de l'espace le long des berges et dans les îles inondables du fleuve Niger, entre Niamey et la frontière nigéro-malienne. L'opération a nécessité une couverture photographique aérienne à 1/7 500 sur émulsion standard et sur émulsion infrarouge noir et blanc, cette dernière donnant des informations irremplaçables sur les milieux humides.

A partir des deux jeux photographiques de la mission aérienne spécifique, il est devenu possible de cartographier les terres cultivées en sec (mil, mil et haricot) et les terres cultivées en milieu humide (riz et sorgho) ; également, les rizières aménagées pour le contrôle du plan d'eau, les rizières non aménagées (riz flottant), les pâturages inondés, les aires inondables etc. Cette cartographie constitue le bilan de l'utilisation des terres fluviales au moment de la prise de vue.

Dans l'exemple qui est cité plus loin (carte d'utilisation du sol à Haïti), ce sont les données de la télédétection spatiale Landsat qui ont permis la rédaction d'une carte à échelle moyenne (1/250 000). Elles ont théoriquement l'avantage de donner accès à une information saisie tout au long de l'année qui peut, par conséquent, être sélectionnée en fonction de l'objectif cartographique (période de maturité de telles espèces cultivées pour mesurer les rendements, période de perte de feuillage du couvert végétal pour apprécier la qualité des sols, etc.).

Les données de la télédétection permettent de procéder, pour autant que l'on dispose des moyens nécessaires, à la mise à jour des informations sur l'occupation et l'utilisation du sol. Les photographies aériennes sont en général trop coûteuses pour ce seul objectif : on peut cependant utiliser des couvertures récentes destinées à d'autres usages pour procéder à des révisions de la carte d'utilisation du sol après échantillonnage sur le terrain ; mieux, on peut utiliser les données de la télédétection spatiale pour identifier les aires et les thèmes qui sont les plus affectés par les modifications, puis les préciser éventuellement par un travail sur le terrain.

## 1.2. Les enquêtes sur le terrain

Les enquêtes sur le terrain fournissent trois types d'informations nécessaires à l'acquisition des données d'occupation et d'utilisation du sol.

a) L'information indispensable, préalable à toute interprétation de photographies aériennes : des échantillons de territoire sont sélectionnés où les espèces cultivées, les types d'associations culturales, les couverts arborés, les types d'implantation humaine sont recensés, classés puis extrapolés. Ce premier examen constitue l'interprétation des données de la photographie aérienne sur des bases précises et vérifiées.

(1) Voir chapitre LES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES.

b) Les détails trop fins pour être distingués sur les données de la télédétection, ou qui sont cachés à la prise de vue, doivent être relevés sur le terrain : différenciation de certaines formes d'arboriculture, associations culturales multiples, cultures sous couvert arbustif ou arboré...

c) Les informations d'ordre technique, économique et social ne peuvent être obtenues par télédétection mais elles sont souvent indispensables à la compréhension des modes de production agricole : durée des jachères, type d'assolement, disponibilité de la main-d'œuvre (travail agricole des femmes et des enfants) et calendriers, activités secondaires non agricoles...

### 1.3. Les cartes existantes

Certaines cartes peuvent contribuer à dresser l'information nécessaire à une cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol :

- comme point d'appui à l'échantillonnage en vue des enquêtes sur le terrain ;
- pour la délimitation des aires d'extrapolation correcte de chaque type d'utilisation du sol identifié ;
- pour apporter quelques compléments ou corrections aux données de télédétection et aux enquêtes sur le terrain.

Ces cartes sont des cartes d'inventaire telles que la carte pédologique et ses dérivés (carte des potentialités des sols, par exemple), les cartes de végétation, les cartes de répartition de la population, les cartes topographiques détaillées à grande échelle.

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION

Les thèmes d'occupation et d'utilisation du sol sont très diversifiés : ils ne se prêtent pas à une présentation systématique. C'est donc en fonction des objectifs poursuivis que décideur et rédacteur cartographe doivent définir les informations qui figureront sur la carte et leur importance relative.

### 2.1. Le problème de la mise à jour

L'existence préalable d'une carte topographique de bonne qualité résout la plupart des problèmes cartographiques : elle fournit le fond de carte indispensable et de nombreux éléments d'occupation et d'utilisation du sol puisqu'elle restitue une image du paysage, mais des mises à jour doivent être prévues.

En effet, les cartes d'occupation et d'utilisation du sol, qui sont l'un des principaux outils du planificateur et de l'aménageur, doivent être aussi proches que possible de la réalité du moment, c'est-à-dire parfaitement à jour. Or, parmi les éléments qu'elles présentent, certains sont très variables dans le temps ou très mobiles dans l'espace. Il convient donc que les éléments variables et mobiles soient mis en évidence (les jachères de courte durée par rapport aux jachères de longue durée, par exemple) et que l'état des éléments qui évoluent de façon continue (les défrichements) soit pris en compte.

Les cartes d'occupation et d'utilisation du sol sont donc toujours des cartes *provisoires* dont il faut envisager la réfection périodique. La périodicité dépend évidemment de la rapidité d'évolution des phénomènes jugés les plus importants dans le cadre des opérations envisagées : défrichements spontanés, dégradation des sols cultivables, des pâturages ou des rendements agricoles, transformations foncières ou technologiques, déplacements de main-d'œuvre...

Le problème est que l'information nécessaire à ces mises à jour est issue de procédés coûteux : nouvelles enquêtes sur le terrain, nouvelles couvertures aériennes. Ces difficultés sont l'une des raisons pour lesquelles les cartes d'occupation et d'utilisation du sol, quand elles existent, sont rarement mises à jour. L'utilisation des données de la télédétection spatiale, quand elle sera devenue courante dans ce domaine, devrait lever cette hypothèque. Elle permet déjà de tracer les nouvelles limites ou les nouvelles extensions d'éléments reconnus antérieurement : périmètres nouvellement urbanisés, défrichements récents, indices de surexploitation des milieux pâturés ou forestiers, régénérations...

Le cas échéant, l'exploitation des données de la télédétection spatiale permet de discerner les conséquences sur le milieu agricole de phénomènes occasionnels ou exceptionnels : effets des catastrophes naturelles (sécheresse, cyclones et inondations), conséquences des grands aménagements tels que barrages ou villes nouvelles sur la répartition de l'habitat et des aires cultivées...



## 2.2. Le problème des échelles de restitution

L'occupation et l'utilisation du sol impliquent la cartographie d'un grand nombre de phénomènes concomitants et explicatifs les uns des autres, c'est-à-dire une cartographie complexe, trop complexe quelquefois pour rester clairement lisible ou aisément reproductible. On peut alors procéder à l'établissement de plusieurs cartes superposables et par là comparables (même fond de carte, même échelle), représentant chacune un élément (agriculture, élevage, forêts et pêche), élément correspondant d'ailleurs souvent à un secteur de recueil de l'information et à un secteur de prise de décision.

Une telle cartographie n'a d'intérêt pratique et d'efficacité que si elle se situe à l'aval de cartes d'occupation et d'utilisation du sol globales et intégrées : *globalité* et *intégration géographique* des différents secteurs de l'occupation-utilisation du sol (agriculture, élevage, communications, villes, forêts et zones non occupées, zones non utilisées) sont la condition d'une information efficace.

L'abondance des éléments représentés et la finesse de restitution — par conséquent la gamme d'utilisations pratiques de la carte — dépendent de son échelle.

a) Les cartes d'occupation et d'utilisation du sol à moyenne et petite échelle (cartes générales), à 1/500 000, 1/1 000 000

Les cartes générales d'occupation et d'utilisation du sol contribuent à mettre en valeur les éléments productifs d'un territoire, directement par la figuration des lieux et de la nature des productions, indirectement par la figuration des contraintes à la production.

Or, le champ des thèmes indispensables à l'information du planificateur et le champ des thèmes cartographiables sont tellement vastes qu'il n'est pas possible de dresser la liste du contenu d'une carte d'occupation ou d'utilisation du sol complète (ou se voulant telle) ; la rédaction d'une telle carte doit être judicieusement adaptée aux besoins du demandeur, aux caractères spécifiques du territoire à cartographier, aux contraintes de recueil de l'information, à la rapidité présumée de sa péremption...

De façon générale, les cartes d'occupation ou d'utilisation du sol à moyenne et petite échelle sont réellement utiles quand le choix des phénomènes à représenter, le choix de leur classification et celui des modes de représentation mettent en évidence *les disparités entre systèmes de production et les contraintes à la production* dans le territoire étudié. En voici quelques éléments :

— *Les disparités entre systèmes de production :*

Opposition terres irriguées - cultures sèches ; grande exploitation mécanisée - petite exploitation familiale ; prépondérance de l'agriculture - prépondérance de l'élevage ; aires cultivées - aires non cultivées ; systèmes agraires dirigés - systèmes non dirigés ; sédentarité - mobilité des producteurs ; production vivrière - production commerciale ; production intensive - production extensive ; utilisation - non-utilisation des ressources spontanées.

Caractères spécifiques de la production artisanale, industrielle et minière ; caractères spécifiques du commerce et des services ; disparités régionales dans la distribution des équipements.

— *Les contraintes à l'expansion des activités humaines :*

Contraintes naturelles : climatiques, pédologiques, hydrologiques ; obstacles liés à la pente ou à l'altitude ; obstacles liés à la faune (grands prédateurs ou vecteurs de maladies endémiques).

Contraintes liées aux modes d'exploitation des territoires : dégradation des sols par surexploitation, latifundia (1), technologies inadaptées.

Contraintes liées aux habitudes agraires et sociales : modes de rotation des parcelles, durée des jachères, régimes fonciers, disponibilité en terres et en main-d'œuvre...

b) Les cartes d'occupation et d'utilisation du sol aux grandes échelles (1/200 000, 1/100 000, 1/50 000)

Au niveau de l'intervention locale, les problèmes de l'information préliminaire à la rédaction d'une carte sont certes plus faciles à résoudre mais les informations nécessaires à la prise de décision constituent un faisceau plus abondant et plus complexe. Le choix des thèmes à faire figurer sur la ou les cartes et le choix de leur classification sont donc étroitement liés au projet spécifique qui motive la demande de cartographie. Les éléments à retenir ne seront évidemment pas les mêmes s'il s'agit de mettre en place une opération de colonisation agricole sur des terres neuves inoccupées ou s'il s'agit d'aménager un terroir nouvellement irrigable dans une cuvette densément peuplée... Une carte d'utilisation du sol ne figurera pas les mêmes objets si elle est destinée à présenter l'information nécessaire à la *mise en œuvre* d'un projet et l'information nécessaire à son *suivi*...

Quelles que soient les échelles, la très vaste gamme des éléments à représenter et de leurs modes de figuration graphique, l'introduction de notions quantitatives ou de jugements de valeur (sur l'importance des contraintes, par exemple) donnent aux cartes d'occupation et d'utilisation du sol une dimension *démonstrative* autant qu'*informative*. Plus que d'autres, elles risquent d'être le résultat de choix dans lesquels l'objectivité peut, volontairement ou involontairement, être discutable.

(1) Latifundia : grandes propriétés privées insuffisamment mises en valeur et volontairement consacrées à l'exploitation extensive.

### 3. MAÎTRISE ET UTILISATION DE L'INFORMATION : UN EXEMPLE DE CARTOGRAPHIE D'UTILISATION DU SOL

La *carte des cultures et de la végétation naturelle de la République d'Haïti* fait partie d'un ensemble de travaux cartographiques à 1/250 000, réalisés en 1981 à la demande de la Direction de l'Aménagement du Territoire et de la Protection de l'Environnement de la République d'Haïti et financés par le Fonds d'Aide et de Coopération français.

L'objectif du planificateur était de disposer le plus rapidement possible d'un outil de travail lui permettant de déterminer les régions pour lesquelles les potentialités ou les contraintes à leur aménagement rendaient nécessaire une analyse plus détaillée au cours de la période d'élaboration du Plan.

Dans ce but, il souhaitait obtenir dans un délai de six mois la cartographie biophysique à moyenne échelle de tout le territoire de la République d'Haïti.

Les contraintes budgétaires ainsi que les très courts délais impartis ont donc conduit les experts à proposer l'interprétation des images du satellite d'observation de la terre Landsat, bien adaptée à une cartographie à 1/250 000.

L'échelle moyenne de l'interprétation limitait cependant l'intérêt de tels travaux à la simple localisation des zones plus ou moins favorables à l'aménagement agricole et des zones « critiques » à protéger en priorité contre les risques d'érosion. Si les caractéristiques d'utilisation du sol dans un milieu à relief accidenté et soumis à une densité humaine élevée rendent délicate une étude des systèmes de production à partir des données du satellite, en revanche l'identification de zones structurellement homogènes en termes d'occupation et d'utilisation du sol ne pose aucun problème particulier.

L'interprétation manuelle de la mosaïque fausses couleurs a permis de dresser dans un premier temps une carte géomorphologique, dans un second temps, une carte des cultures et de la *végétation naturelle*. Cette dernière s'apparente à une carte d'occupation du sol pour le thème *végétation naturelle*, à une carte d'utilisation du sol par les thèmes *cultures*.

Ainsi, la *végétation naturelle* est-elle abordée de façon succincte selon le milieu hydrique correspondant, selon le niveau de dégradation du couvert naturel et en fonction de l'impact de l'activité productive humaine (friche et jachères).

Les thèmes agricoles, en revanche, sont traités avec plus de précision et en fonction des préoccupations d'aménagement et de conservation de l'espace propres au demandeur. Les cultures en sec ont été distinguées des cultures irriguées, mais la différence, au sein de ces dernières, entre la riziculture et la canne à sucre, était difficilement appréciable par interprétation des images satellite à 1/250 000, d'autant plus que le parcellaire haïtien est particulièrement dense.

En s'appuyant plus particulièrement sur *l'intensité de la mise en valeur* qui rend évidente l'opposition plaine-montagne, l'interprétation a défini trois grandes classes d'occupation et d'utilisation du sol :

- les terres mises en culture,
- la végétations naturelle,
- les terrains sans végétation.

Pour les *terres cultivées*, le critère intensité de mise en valeur permet de distinguer les cultures intensives irriguées et non irriguées des cultures extensives montagneuses et des pâturages. Par ailleurs, les cultures commerciales de café et de cacao ont également été localisées sur les pentes des collines.

Pour la *végétation naturelle*, l'interprétation manuelle permet de différencier assez nettement les catégories usuelles de couvert végétal spontané telles que forêts, savanes, associations xérophiles et associations hygrophiles.

Enfin, les sols dépourvus de végétation ont été cartographiés en fonction des causes de dénudation : zones urbanisées et lithosols salins, calcaires, basaltiques.

La carte des cultures et de la *végétation naturelle* de la République d'Haïti constitue la première description spatiale de l'occupation et de l'utilisation du sol sur toute la surface du pays. Elle donne en *première analyse* des indications globales au niveau national sur les disparités et les inégalités de développement entre les divers milieux du pays, en particulier entre les plaines et les aires montagneuses. Elle fournit également des indications sur les territoires à étudier en priorité à des fins opérationnelles urgentes (protection des sols, aménagements agricoles). Elle ouvre ainsi la porte à une opération cartographique à plus grande échelle sur les zones sélectionnées par l'aménageur. Enfin, elle répond surtout aux contraintes spécifiques du planificateur qui a généralement besoin d'une information à coût réduit, dans des délais courts, et présentant des possibilités de mise à jour régulière.

## FICHE TECHNIQUE

### CARTE DES CULTURES ET DE LA VÉGÉTATION NATURELLE D'HAÏTI

L'exemple présenté est celui de la *carte des cultures et de la végétation naturelle* d'Haïti à 1/250 000, Direction de l'Aménagement du Territoire et de la Protection de l'Environnement de la Secrétaire d'Etat au Plan (DATPE), Port-au-Prince (Haïti). Cette carte a été réalisée par la Société Française d'Etudes et de Recherches Economiques et Statistiques (SFERES), Paris, en 1981.

#### PRÉSENTATION DE LA CARTE :

La *carte des cultures et de la végétation naturelle* d'Haïti a été fournie au demandeur sous deux formes :

- d'une part, une carte en noir et blanc (présentée ici) et en trois planches au format utile 51 x 79 cm ;
- d'autre part, une carte en couleurs en une planche, à la même échelle et au format 144 x 92 cm.

Sous chacune de ses présentations, la carte couvre l'ensemble du territoire de la République de Haïti, soit 27 750 km<sup>2</sup>. La *carte des cultures et de la végétation naturelle* fait partie d'un ensemble de quatre documents cartographiques présentés à la même échelle :

- *un fond de carte* en noir et blanc consistant en une mosaïque d'images photographiques du satellite Landsat portant en surcharge des indications sur la toponymie, les axes de communication, les amorces des coordonnées géographiques ;
- une carte géomorphologique du territoire de la République de Haïti ;
- la *carte des cultures et de la végétation naturelle* ;
- une carte des risques d'érosion dérivée des deux cartes précédentes, disponible sous forme d'un film reproductible et superposable aux documents de l'ensemble.

#### UTILISATION :

Localisation : région côtière centrée sur la plaine de Port-au-Prince et les montagnes qui l'encadrent au nord et au sud. Surface couverte : 52 x 73 km environ, soit approximativement 38 000 km<sup>2</sup>.

Sur cette version en noir et blanc, chaque unité cartographiée est identifiée par un numéro de classification décimale dont la signification renvoie à la légende. Exemple : 4 = forêts ; 41 = forêts denses et 42 = forêts dégradées.

On trouvera dans le paragraphe 3 du présent chapitre (un exemple de cartographie d'utilisation du sol : celle de Haïti) les explications concernant le détail des classifications de la légende.

Les versions en noir et blanc sur transparent permettent à l'utilisateur de reproduire aisément et à peu de frais le nombre d'exemplaires qui lui sont nécessaires, de surcharger la carte par ses propres observations et d'effectuer, au moyen de couleurs ou de trames choisies par lui-même, les regroupements visuels de thèmes adaptés à ses besoins de corrélation ou de démonstration : mise en évidence des terres peu productives, mise en évidence des aires en culture de rapport, des aires boisées, etc.

Le fond de la carte localise, aux fins de repérage, les principales villes et voies de communication ainsi que les limites administratives.

#### OBJECTIF ET ÉLABORATION DE LA CARTE :

L'objectif est de présenter un inventaire des ressources et des contraintes liées à l'occupation du sol, cet inventaire cartographique étant destiné à servir de base à la préparation du Plan.

Le demandeur souhaitait que la carte réponde à trois impératifs :

- que l'information fournie soit à jour,
- qu'elle soit disponible rapidement,
- que la réalisation soit peu coûteuse.

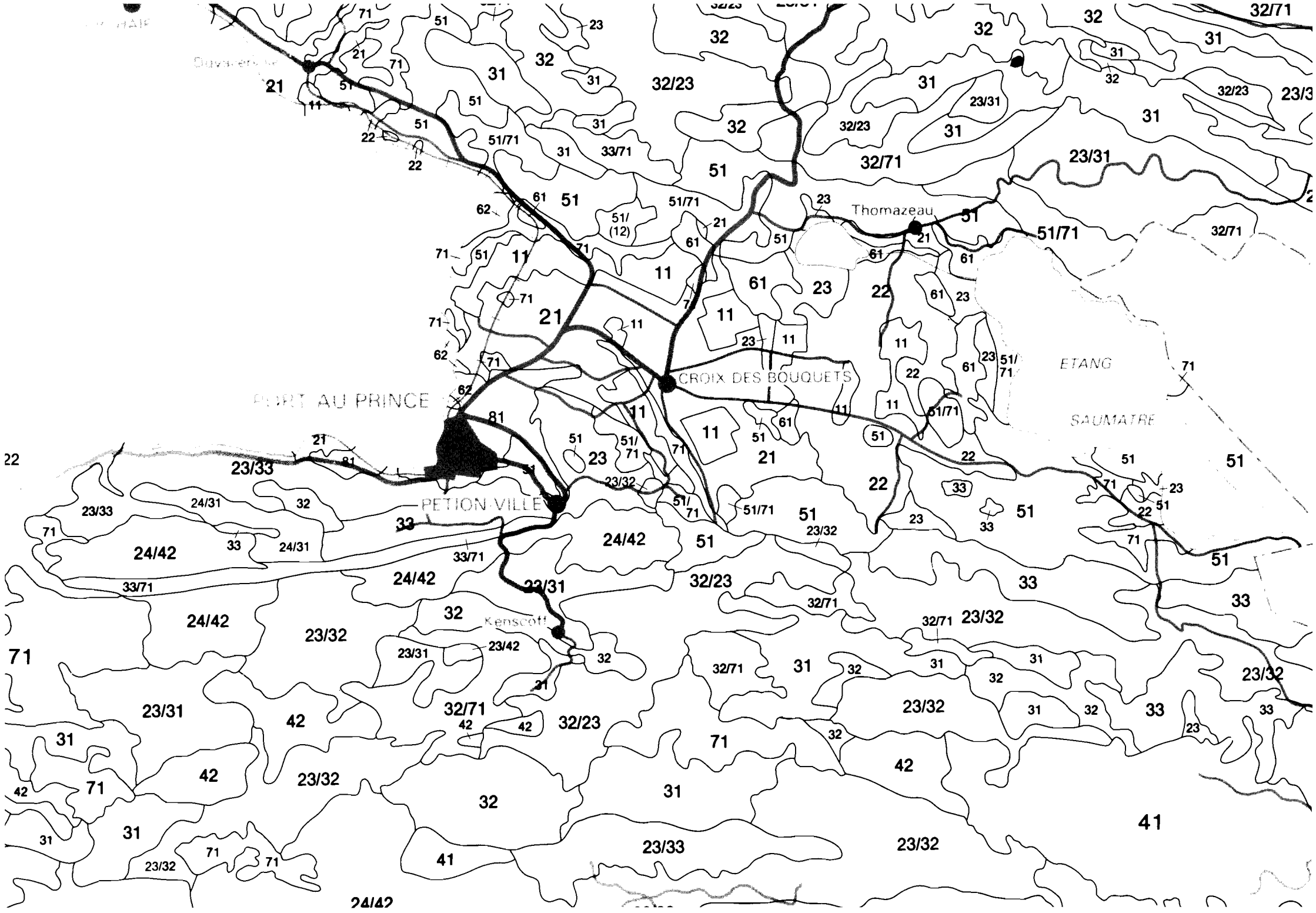
Pour que ces objectifs soient remplis, on a utilisé comme source principale quatre images du satellite Landsat de l'année 1979, de bonne qualité et de faible ennuagement. Les images ont subi, préalablement à toute utilisation, un traitement numérique destiné à en améliorer la qualité (contrastes, limites, corrections géométriques), facilitant ainsi le travail de l'interprète.

Les données ainsi *restaurées*\* ont été traduites en images photographiques *fausses couleurs*, dans lesquelles l'image correspondant à chaque longueur d'onde enregistrée (quatre longueurs d'onde, quatre *canaux*) est restituée dans une couleur différente. Par ce procédé, l'ensemble des informations radiométriques enregistrées est visuellement restitué, rendant l'interprétation d'autant plus riche et plus aisée.

L'interprétation des données Landsat s'est appuyée sur un échantillon de photographies aériennes panchromatiques à 1/40 000 de 1978 : en choisissant un cliché sur trois de la couverture stéréoscopique de l'ensemble du pays, la densité et la qualité des informations supplémentaires étaient considérées comme satisfaisantes.

Enfin, l'interprétation s'est aidée des cartes topographiques à 1/250 000 (publiées en 1957), de cartes géologiques, pédologiques et, sur certaines régions, des cartes d'occupation et d'utilisation du sol partielles qui pouvaient exister.

L'absence de vérification sur le terrain a été dictée par les contraintes budgétaires : un contrôle léger était considéré par les auteurs comme souhaitable mais dans ce cas précis il aurait alourdi le prix de revient et les délais de rédaction sans améliorer dans les mêmes proportions la qualité de la cartographie.



Les documents cités (les 3 cartes thématiques et le fond photographique) sont activement utilisés mais l'échelle à 1/250 000 est considérée comme insuffisante pour un travail détaillé et le demandeur souhaite que la carte d'utilisation du sol à 1/250 000 soit complétée par une couverture semblable à 1/100 000. Cette réalisation pose des problèmes de recueil de l'information et de réalisation cartographique considérables et elle n'est envisagée, pour le moment, que sur des secteurs limités du territoire national.

L'ensemble des cartographies réalisées à 1/250 000 se présente donc comme une étape — rapidement disponible et relativement peu onéreuse — vers une information cartographiée beaucoup plus fine et/ou vers des mises à jours fréquentes si nécessaire.

#### **DISPONIBILITÉ DES TRAVAUX :**

Direction de l'Aménagement du Territoire et de la Protection de l'Environnement, Secrétairerie d'Etat au Plan, Port-au-Prince, République de Haïti.

SFERES, 58 avenue Aristide Briand, 92120 MONTROUGE, France.

Ces travaux étant réalisés dans un but *opérationnel* et non pas destinés à la diffusion publique proprement dite, leur disponibilité est réduite.

Reproduit avec l'autorisation de la SFERES.

## Chapitre 4

# La cartographie urbaine

Dans la mesure où la ville est considérée comme un objet d'étude en soi ou au contraire comme un élément de l'espace régional, national ou international, elle peut être concernée par la cartographie à toutes les échelles. La cartographie des villes peut donc être abordée sous deux angles :

- la ville est saisie comme un point dans l'espace, centre et sujet d'une zone d'influence, place centrale et élément d'un réseau urbain hiérarchisé : elle est alors traitée aux échelles moyennes et petites (1/500 000, 1/1 000 000 etc.).
- l'agglomération urbaine, en totalité ou en partie, constitue l'objet même de la carte : la ville est alors traitée aux échelles grandes et très grandes. Cette cartographie va de l'échelle cadastrale (1/2 000 à 1/500) à celle des plans de ville (1/10 000, 1/20 000, 1/25 000, 1/50 000). S'y ajoutent, à des échelles variées, les plans de quartiers, les plans de situation, voire les plans d'ensembles ou d'immeubles qui sortent de la cartographie urbaine proprement dite tout en étant dans son prolongement direct pour le décideur et le gestionnaire. A l'inverse, les mégalo-poles, les conurbations et les ensembles ville-banlieue très étendus peuvent exiger une cartographie à échelle moyenne, entre le 1/50 000 et le 1/100 000.

Le niveau de la cartographie urbaine proprement dite est celui où l'information, la gestion, l'aménagement sont indispensables en raison de la finesse des phénomènes spatiaux qu'on y rencontre, de la grande densité de population et de la nature particulière des conflits et tensions qui s'y développent. C'est en milieu urbain que s'exercent le plus intensément les actions des planificateurs en dépit des difficultés liées à la dynamique spontanée propre aux grandes cités et de la multiplication des interventions dirigées.

C'est ce niveau qui constitue l'objet spécifique de la cartographie urbaine tel qu'il est entendu ici.

La cartographie urbaine est établie à partir de trois principaux moyens d'information : le cadastre urbain ; les photographies aériennes et les données de la télédétection spatiale ; les données techniques, statistiques, qualitatives recueillies régulièrement par les services municipaux ou obtenues spécialement à partir d'enquêtes sur le terrain.

La plupart des cartes urbaines sont rédigées en utilisant les outils de production classiques. Il est toutefois important de souligner ici les progrès réalisés en cartographie assistée par ordinateur (1), dont l'application dans le secteur urbain peut être utilement envisagée.

(1) Voir le chapitre CARTOGRAPHIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR et la fiche technique du présent chapitre.



## 1. SAISIE DE L'INFORMATION

### 1.1 Le cadastre urbain

Une partie de la cartographie urbaine procède du *plan cadastral*, qui figure à très grande échelle (de 1/2 000 à 1/500) les îlots, les sections de voie, les parcelles avec leur numéro, le bâti ; plus rarement, il contient les adresses postales et l'altimétrie (courbes de niveau). Le plan cadastral se rapporte à un *fichier cadastral* qui en constitue le descriptif détaillé.

Le cadastre constitue un instrument de travail au niveau de l'aménagement de quartier, de la mise en place d'équipements nouveaux ou d'ensembles résidentiels. Il est utilisé par les aménageurs soit à son format d'origine, soit le plus souvent après réduction à 1/5 000.

Le plan cadastral a l'avantage d'être établi à partir de mesures au sol ; il constitue avec son fichier une documentation en principe riche et précise : largeur des voies de communication, limites (et parfois utilisation) des parcelles, surface au sol, hauteur des bâtiments, etc. Cependant, alors que le cadastre est d'un usage courant, le fichier cadastral est en principe confidentiel : sa consultation et son utilisation peuvent soulever des problèmes de droit au secret pour les personnes ; l'utilisation statistique et non pas individuelle permet d'éviter cet écueil.

Le plan cadastral peut être considéré comme parfaitement fiable ; il présente cependant un retard endémique sur les transformations et le développement de la ville et doit toujours être vérifié et éventuellement complété à l'aide des photographies aériennes.

Les données contenues dans le fichier cadastral sont plus discutables ; ce dernier n'a en matière juridique — comme le plan cadastral d'ailleurs — qu'une valeur indicative. Cela tient au fait que les données qu'il contient sont celles fournies par les intéressés eux-mêmes, avec les biais et les omissions que cela peut comporter. Une vérification et une mise à jour minutieuses sont donc nécessaires si on veut l'utiliser.

### 1.2. Les photographies aériennes et la télédétection spatiale

De même qu'elles constituent une information de base sur le paysage rural, les photographies aériennes fournissent l'information essentielle sur le paysage urbain. Mais comme les échelles de prise de vue doivent être grandes puisqu'on a besoin de finesse (1/5 000, 1/10 000, 1/20 000), les opérations de redressement sont indispensables et on travaille généralement sur des orthophotoplans (1).

Les photographies aériennes ont l'avantage de donner des indications parfaitement à jour au moment de la prise de vue et des indications irremplaçables sur la topographie naturelle de la ville (relief, hydrographie...). Elles se substituent au plan cadastral partout où celui-ci n'existe pas ou n'est pas à jour et servent à le compléter ; elles permettent des mesures sur les proportions entre espaces bâtis et espaces non bâtis dans le cas d'habitat pavillonnaire ou de constructions industrielles, par exemple. Elles sont utiles pour déterminer les zones de bruit (flux de circulation, hauteur des bâtiments), les accès aux services tels qu'écoles, commerces... ; elles comblent les lacunes sur les franges pionnières des agglomérations. Elles fournissent ainsi des données qualitatives qu'il convient généralement de préciser par des enquêtes directes.

Les vues obliques, moins coûteuses, permettent de suivre, par exemple, les migrations quotidiennes des travailleurs et complètent par là les comptages routiers.

La mise à jour des couvertures aériennes peut être faite à partir de missions périodiques mais leur prix de revient élevé, la nécessité d'établir des orthophotoplans coûteux sont un obstacle à la multiplication des prises de vue.

Citons ici l'intérêt des prises de vue aériennes en infrarouge thermique (thermographie aérienne), qui renseignent sur les températures en milieu urbain : chaleur ou froid émanant des canalisations, des bâtiments et des ouvertures, activités industrielles...

Depuis quelques années, décideurs et chercheurs travaillent ensemble sur les moyens d'obtenir des informations qualitatives et quantitatives sur l'évolution des périmètres urbanisés, grâce aux données des satellites (Landsat, SPOT) (2) dont la répétitivité permet de suivre les transformations d'un milieu. Les résultats paraissent intéressants mais ne sauraient résoudre tous les problèmes d'acquisition de l'information nécessaire en milieu urbain.

Les données satellite ne sont toutefois utilisables pour les études urbaines que lorsqu'elles sont redressées géométriquement, ce qui permet alors de les juxtaposer à la cartographie classique.

Elles fournissent des informations non seulement sur les zones urbanisées mais sur leur pourtour, aussi loin du centre qu'il est nécessaire, permettant ainsi l'étude des relations entre la ville et son environnement.

(1) Voir le chapitre PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES.

(2) Le satellite SPOT n'est pas encore opérationnel en 1984 mais des études en cours sont fondées sur *simulations*, enregistrements effectués par les capteurs qui équiperont SPOT, embarqués à bord d'avions.

### 1.3. Les données statistiques et les enquêtes sur le terrain

Les services municipaux et nationaux tiennent à jour pour leurs propres besoins des fichiers de données détaillées, généralement localisées avec une grande précision et qui peuvent de ce fait être cartographiées. L'exploitation en est facilitée quand ils sont informatisés.

Ces fichiers (recensements, fichiers de gestion des administrations sociales, scolaires, du travail...) sont en principe tenus à jour par les services utilisateurs. Leur fiabilité doit toutefois être vérifiée.

Des enquêtes directes peuvent également fournir matière à compléter les cartes existantes ou à en établir de nouvelles : mises à jour de la toponymie, comptages routiers, fréquentation des lieux de rassemblement (commerces, spectacles, services...).

## 2. RESTITUTION DE L'INFORMATION

### 2.1. Cartes et plans

Les cartes de ville (généralement appelées plans de ville) sont dressées en principe à partir de données planimétriques précises et exactes. Elles indiquent le tracé des voies et des places, les principaux monuments, les cours d'eau et les côtes, quelques données altimétriques, la destination générale des îlots (résidence, administrations et équipements à usages industriels, espaces non bâtis, espaces verts...), mais surtout elles portent une nomenclature très abondante (noms des voies, des édifices remarquables, destination des bâtiments publics), souvent complétée par un index et une grille de repérage.

La figuration des voies et de certains monuments y est parfois déformée pour la commodité de l'utilisation. Ces cartes fournissent des éléments d'information intéressants et quelquefois indispensables ; leur défaut est toutefois de constituer des documents peu exacts, trop chargés aussi en données hétérogènes pour une utilisation directe.

On peut rapprocher de ces cartes les plans des réseaux de transport public, les schémas de traversée et de dégagement routier, les itinéraires touristiques et les voies commerciales, etc. La fiabilité et la tenue à jour de ces documents, concernant des données relativement pérennes ou liées à des impératifs commerciaux, sont en général satisfaisantes. Les plans de ville sont utilisés pour la détermination des zonages de fait, des structures d'ensemble de l'agglomération, des structures générales d'équipement ainsi que pour l'établissement des plans directeurs, eux-mêmes établis dans cette gamme d'échelles.

Il est à noter cependant que toutes ces cartes incluent rarement les périmètres péri-urbains, les banlieues et les lignes de contact entre l'aire urbaine et l'aire rurale qui l'entourent, contribuant ainsi à accentuer le hiatus entre la ville et ses périphéries.

Les cartes des services techniques sont établies à partir d'une planimétrie de base généralement plus précise que les précédentes. Elles sont dressées et tenues à jour par les services eux-mêmes pour les besoins de la gestion des réseaux : distribution de l'eau, du gaz et de l'électricité, égouts, comptages routiers, régulation des flux de circulation, transports publics...

A une période récente certaines villes françaises (Strasbourg, notamment) ont fait des expériences de cartographie à grande échelle, avec une précision centimétrique, des conduites enterrées et aériennes ; cette cartographie est destinée à éviter leur détérioration au cours de travaux d'urbanisme public ou privé.

En raison des conditions de leur utilisation, les cartes dressées par ces services sont en principe fiables et constituent sans doute l'un des meilleurs matériaux disponibles. Certaines peuvent présenter cependant des lacunes surprenantes et elles ne doivent pas être utilisées sans examen critique préalable. Parmi ces lacunes, citons la configuration des sous-sols urbains (pourtant indispensable à l'implantation d'immeubles élevés), les réseaux de communication souterrains, les recherches d'eau potable, les excavations et remblaiements, les conditions de drainage, les pentes...

Les cartes à finalité économique et sociale sont encore peu répandues. Elles sont destinées à la gestion à long terme des espaces urbains et péri-urbains et figurent les équipements sociaux et culturels, les concentrations commerçantes, le niveau socio-professionnel des résidents, l'âge des constructions, le faciès de l'espace urbanisé (immeubles, pavillons, espaces verts publics et privés, etc.).

Ces thèmes, cartographiables sur des fonds de carte identiques, constituent des corpus de données superposables fournissant des informations sur les contrastes et les contraintes socio-économiques du milieu urbain. Ce sont en général les cartes dites « de synthèse » des atlas urbains.

Les cartes des zones péri-urbaines ; les décideurs travaillant sur des milieux urbains de vaste étendue ou à expansion rapide prêtent une attention particulière à l'évolution des couronnes suburbaines sur le plan de l'occupation du sol et de ses conséquences socio-économiques spécifiques : phénomènes spéculatifs et phénomènes de sous-urbanisation (bidonvilles et habitat spontané), communications avec le centre-ville et les centres périphériques, démobilité agricole des franges ville-campagne, espaces de loisirs à distance de la ville, etc.

Ces thèmes donnent lieu à des cartographies évolutives dont la fréquence est à déterminer, souvent établies à partir des données spatiales qui permettent de saisir les modifications survenues (de cinq ans en cinq ans, par exemple).

## 2.2. La restitution automatisée

Aux Etats-Unis et dans plusieurs pays d'Europe, ont été réalisées méthodiquement des « cartes automatiques » à partir de l'exploitation de fichiers officiels : cadastre, résultats de recensements, immatriculations sociales et professionnelles des personnes.

La cartographie dite « automatisée » apporte la possibilité d'exploiter des données déjà connues mais jusque là inutilisables ; elle permet de traiter de grandes masses d'informations et d'effectuer rapidement sur elles des calculs complexes ; elle rend possible une reproduction cartographique immédiate de variables définies. A ce titre, la cartographie automatisée est un outil privilégié en ce qui concerne les milieux urbains précisément.

Deux conditions sont indispensables à sa mise en œuvre :

- les fichiers doivent être *préalablement* informatisés ;
- les unités qui les composent doivent recevoir un *identifiant géographique* (généralement le numéro d'îlot, l'adresse postale quand celle-ci est connue par un nom de rue et un numéro).

Lorsque ces conditions sont réunies pour plusieurs fichiers, on a la possibilité de les interconnecter et de regrouper sur un même *individu statistique*\* les données qu'ils contiennent. Ces données peuvent alors être cartographiées de façon automatique et bénéficier en même temps de toutes les possibilités offertes par l'informatisation : construction de variables dérivées, production de cartes à échelles variées, combinaisons de thèmes, anamorphoses mettant en valeur tel phénomène particulier... La présentation à l'utilisateur peut se faire instantanément ou quasi instantanément, en noir ou en couleurs, sur écran ou sur papier (1).

Le recensement de la population, les fichiers administratifs, fonciers, professionnels, sociaux, économiques, d'équipement, relèvent en principe de ce type d'exploitation. Leur utilité pour le décideur, le gestionnaire urbain, l'aménageur, voire même le chercheur, est fonction des besoins de ceux-ci. La rapidité de ce procédé permet, plus que toute autre forme de cartographie, de suivre pas à pas, de manière quasi instantanée la démarche de l'utilisateur.

Il est intéressant de noter ici l'expérience du *Répertoire Géographique Urbain* (RGU), tentée en France en 1968 et couvrant toutes les agglomérations de plus de 20 000 habitants, mais finalement abandonnée. Le RGU se proposait de traiter en cartographie automatisée l'espace urbain. L'échec de l'expérience semble être dû au manque de précision des traceurs, aux difficultés de mise à jour, au coût de l'opération (équipement, personnel), mais le principe reste valide.

## 3. MAÎTRISE ET UTILISATION DE L'INFORMATION

### 3.1. Les cartes thématiques classiques

Plus que tout autre, le milieu urbain, entièrement créé par l'homme, est géré, surveillé, contrôlé. Il est l'objet d'aménagements et de décisions techniques et politiques dont la moindre, dans ce milieu à population très dense par définition, peut avoir des conséquences socio-économiques et psychosociales importantes, parfois instantanées, souvent contradictoires et conflictuelles. En effet, le milieu urbain est le lieu privilégié d'exercice et d'expression des tensions économiques, sociales et politiques. Les exigences relatives à l'information sont donc le fait des gestionnaires de la ville, de la région et de l'Etat ; elles deviennent assez rapidement celui de toute la population habitant, utilisant, fréquentant le milieu urbain.

(1) Voir chapitre CARTOGRAPHIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR.

Beaucoup de secteurs thématiques d'inventaire et de synthèse peuvent être figurés de façon adaptée aux échelles et aux caractéristiques spécifiques de la cartographie urbaine. Il en est ainsi des cartes topographiques, géologiques et à plus forte raison des cartes de distribution de la population ; les cartes d'aptitudes sont particulièrement indispensables en milieu urbain ou urbanisable où des activités concurrentes convoitent des terrains à forte rentabilité. Les cartes d'utilisation de l'espace présentent couramment des éléments spécifiques au milieu urbain, tels que les types d'habitat, les secteurs d'activités commerciales, industrielles ou administratives, les aires consacrées aux services, aux transports, les types d'association et de mixité, les espaces verts et de loisirs... Il est également très utile de représenter l'utilisation de l'espace dans la ville et à sa périphérie, intégrant le milieu urbain proprement dit, ses franges et les éléments spécifiques du milieu rural proche de la ville.

Les thèmes pédologiques et morpho-pédologiques par contre sont de moindre importance dans la ville mais essentiels aux périphéries, où les espaces bâtis ou constructibles entrent en concurrence avec les terres cultivables (souvent de très bonne qualité) de la frange rurale.

En ce qui concerne la végétation, c'est l'évolution de la taille et de la répartition des espaces verts et l'état sanitaire de la végétation dans la ville et sur ses bordures qui importent davantage que l'inventaire végétal. Les relations de la végétation avec un milieu fortement humanisé (pollutions industrielles, piétinements, épandages de déchets) ne sont pas non plus indifférentes.

Les échelles courantes de la cartographie urbaine (1/50 000 et au-dessus) s'accommodent mal des représentations cartographiques des éléments du climat ; il convient cependant de tenir compte, le cas échéant, de l'existence de micro-climats : pentes ensoleillées et pentes à l'ombre, façades maritimes au vent, vents polluants...). Ces données sont autant d'éléments d'appréciation des conditions du développement urbain (habitat résidentiel, zones industrielles...).

La cartographie des différents types d'équipements est essentielle : en milieu urbain, leur densité, leur variété, la pression de la demande publique rendent obligatoire le choix raisonné de leur répartition géographique en fonction des besoins et de l'économie du phénomène urbain.

### 3.2. Les synthèses socio-économiques

La ville voit s'exercer des évolutions économiques, sociales et psychologiques contraires et concurrentielles, se creuser des disparités, apparaître des contradictions. La gestion de son entretien et la maîtrise de sa croissance doivent tenir compte de ces différences et de ces oppositions en ce qui concerne leur nature, leurs évaluations quantitatives, leurs répartitions géographiques. En milieu urbain, actions et réactions, causes et conséquences sociales, économiques, juridiques s'interpénètrent étroitement : prix du terrain à bâtir, rentabilité de la construction, éventuellement contraintes architecturales, proximité d'aires favorables ou répulsives, influence directe et indirecte des groupes de pression d'utilisateurs, de résidents, de travailleurs, pour ne citer que quelques exemples...

Les cartographies de synthèse incluant les faits sociaux et économiques seraient donc peu lisibles si elles devaient figurer l'ensemble de ces interactions... Elles sont remplacées, lorsque les éléments en question sont localisables, par des cartes superposables (même présentation, même échelle) offrant chacune un nombre limité de thèmes. L'ensemble constitue les *atlas urbains*, recueils des données spatialisées indispensables aux différentes gestions urbaines.

L'un des problèmes spécifiques de l'aménagement et du développement urbains est la multiplicité des gestions qui s'y juxtaposent et s'y superposent : aux gestions techniques (entretien et développement des voies et bâtiments, des transports) s'ajoutent les gestions sociales (équipements sociaux et culturels, vie associative et professionnelle), les gestions administratives et politiques (expression des besoins, intégration des nouveaux venus, croissance démographique, relations avec les municipalités voisines et entre municipalité, région et Etat), les gestions économiques (ravitaillement urbain et marchés, inflations urbaines, prix des terrains, activités productives et services, organisation de la circulation des biens et des personnes)..., toutes catégories de gestion dans lesquelles se trouvent représentées les gestions publiques et les gestions privées...

A cette complexité s'ajoutent les problèmes que posent de façon plus ou moins aiguë la croissance de la ville et ses relations avec le monde environnant : transports urbains et mouvements pendulaires des travailleurs, développements anarchiques ou mal contrôlés, relations ville-campagne et ville-banlieue, malaises psycho-sociologiques liés à l'urbanisation et « pathologies urbaines » (délinquance, pollution, pléthores...).

La cartographie est l'un des moyens de faire parvenir à chacune des instances de gestion et *a fortiori* aux organismes regroupant plusieurs instances de gestion, une information rapide à lire, globale, homogène autant que possible et objective, afin de permettre concertation et ajustements entre les différentes gestions.

### 3.3. Les cartes d'aptitudes et d'impact en milieu urbain

Les milieux urbains et péri-urbains sont ceux où les cartes d'aptitudes se justifient le plus. Encore faut-il intégrer à l'information relative à l'aptitude les faits socio-économiques et psycho-sociaux, qui sont souvent négligés dans les cartes d'aptitudes « classiques » (qui ne prennent en compte que le milieu naturel ou spontané).

A l'aval des cartes d'aptitudes, les cartes d'impact de projet en milieu urbain et péri-urbain peuvent figurer les *conséquences* socio-économiques et socio-géographiques des projets envisagés.

Ces cartographies (aptitudes et impact) devraient fournir des informations détaillées techniques et politiques aux preneurs de décision. Elles devraient permettre de présenter simultanément les projets au public de façon détaillée et prospective, en vue de prendre son avis au cours des enquêtes d'utilité publique. C'est à partir de telles cartes, en particulier, que devraient être établis les *Plans d'Occupation des Sols* (1) des territoires urbanisables.

Bien que les cartographies systématiques, comme éléments de solution aux problèmes de gestion, soient plus couramment pratiquées dans les grandes villes et les conurbations, les petites villes et, de façon générale, tous les espaces construits et habités sont susceptibles de faire l'objet de cartographies de type urbain utiles à la prise de décision, à l'information des habitants et à la justification de la décision.

(1) Dans la commune, le Plan d'Occupation des Sols (POS) précise l'affectation de tous les sols y compris des sols agricoles.

## FICHE TECHNIQUE

### LE RECUEIL CARTOGRAPHIQUE DE BRAZZAVILLE (RÉPUBLIQUE DU CONGO)

Les exemples présentés ici sont issus du recueil cartographique sur la sociologie urbaine de Brazzaville (République Populaire du Congo), préparé par Roland DEVAUGES, Orstom, non encore publié.

#### PRÉSENTATION GÉNÉRALE :

Le recueil cartographique sur la ville de Brazzaville est un ensemble de 108 cartes en noir et blanc à 1/20 000, format utile 54 x 32 cm, représentant sur le terrain 10,8 x 6,4 km, soit un peu moins de 70 km<sup>2</sup>.

Toutes les cartes, sauf les cartes de repérage, de présentation et de répartition des équipements des services techniques, sont la transcription graphique des données statistiques du recensement de 1974. La plupart des cartes ont été faites par ordinateur et restituent les données en implantation zonale\* (exemples 3 et 4, notamment).

L'intention de ce travail est de présenter, sous une forme systématique et classée par thèmes, les éléments détaillés de la société urbaine de Brazzaville, saisis à travers plusieurs thèmes principaux, parmi lesquels la composition par âge de la population, les équipements collectifs et individuels, la nature de l'habitat, les occupations et le niveau de scolarité.

Le mode de traitement graphique met en évidence les disparités entre quartiers de la ville et, à l'intérieur des quartiers, des différences significatives.

#### ILLUSTRATIONS :

Les illustrations ci-après, couvrent une surface de 35 km<sup>2</sup> environ. Elles représentent toutes le même secteur de la ville : les quartiers Poto-Poto et Ouenzé à droite, le centre-ville à gauche. La ville est limitée en bas par le fleuve Congo.

##### a) Exemple 1 :

Carte manuelle, figurant les *îlots urbains* sur fond hydrographique.

Les îlots sont les unités d'enquête ; ils regroupent plusieurs unités d'habitat, quatre en général. Pour la commodité des enquêtes statistiques plusieurs îlots ont été regroupés : leurs périmètres de regroupement sont indiqués ici en traits pointillés. Chaque îlot ou regroupement d'îlots, c'est-à-dire chaque unité d'enquête et, par conséquent, chaque unité restituée sur la carte, est identifiée par un numéro.

On remarque immédiatement la disproportion de taille entre les îlots des quartiers Poto-Poto et Ouenzé et ceux du centre-ville. Les premiers sont des quartiers africains anciens à structure serrée et parcelles petites. Le second est l'ancien quartier colonial européen à vastes parcelles, jardins, voies larges. Depuis l'indépendance, ce quartier est essentiellement le quartier administratif, commerçant et résidentiel des cadres publics et privés, sans modification de structure.

On comprend que la différence de taille entre les îlots, donc entre les unités géographiques, modifie la perception des faits statistiques s'ils sont traduits en valeur absolue par des graphismes semblables.

La carte de repérage et d'identification des îlots est présentée dans le recueil, sur transparent superposable aux autres cartes.

##### b) Exemple 2, *alimentation en eau et fontaines publiques* :

Cette carte manuelle est la figuration du réseau public de distribution d'eau dans la ville. On remarquera la différence de densité du réseau dans les quartiers Poto-Poto et Ouenzé, quartiers populaires où la plupart des parcelles sont équipées et de taille réduite, et dans le quartier centre-ville, dans lequel le réseau paraît paradoxalement réduit parce que les parcelles sont beaucoup plus grandes. En réalité, le niveau d'équipement dans ce quartier est nettement plus élevé que dans le reste de la ville.

##### c) Exemple 3, *âge des résidents : de 5 à 14 ans*.

Carte rédigée par ordinateur à partir d'un fichier des statistiques par îlots et d'un fichier de localisation et d'identification des îlots.

Chaque îlot est représenté par une trame d'intensité variable : à chaque trame correspond une classe de pourcentage de la population de 5 à 14 ans sur la population totale. Dix classes ont été figurées ; leurs limites supérieures et inférieures ont été sélectionnées d'après l'histogramme des pourcentages de cette classe d'âge. Ce ne sont donc pas des limites arbitrairement fixées pour la commodité de la figuration mais des limites qui correspondent à des chiffres significatifs.

Sauf dans quelques îlots, représentés dans une trame très foncée, les pourcentages de la population des 5-14 ans ne sont pas très élevés, signe de vieillissement de la population mais aussi de faits sociaux nouveaux (départ des jeunes adultes vers les nouveaux lotissements de banlieue d'un prix plus accessible).

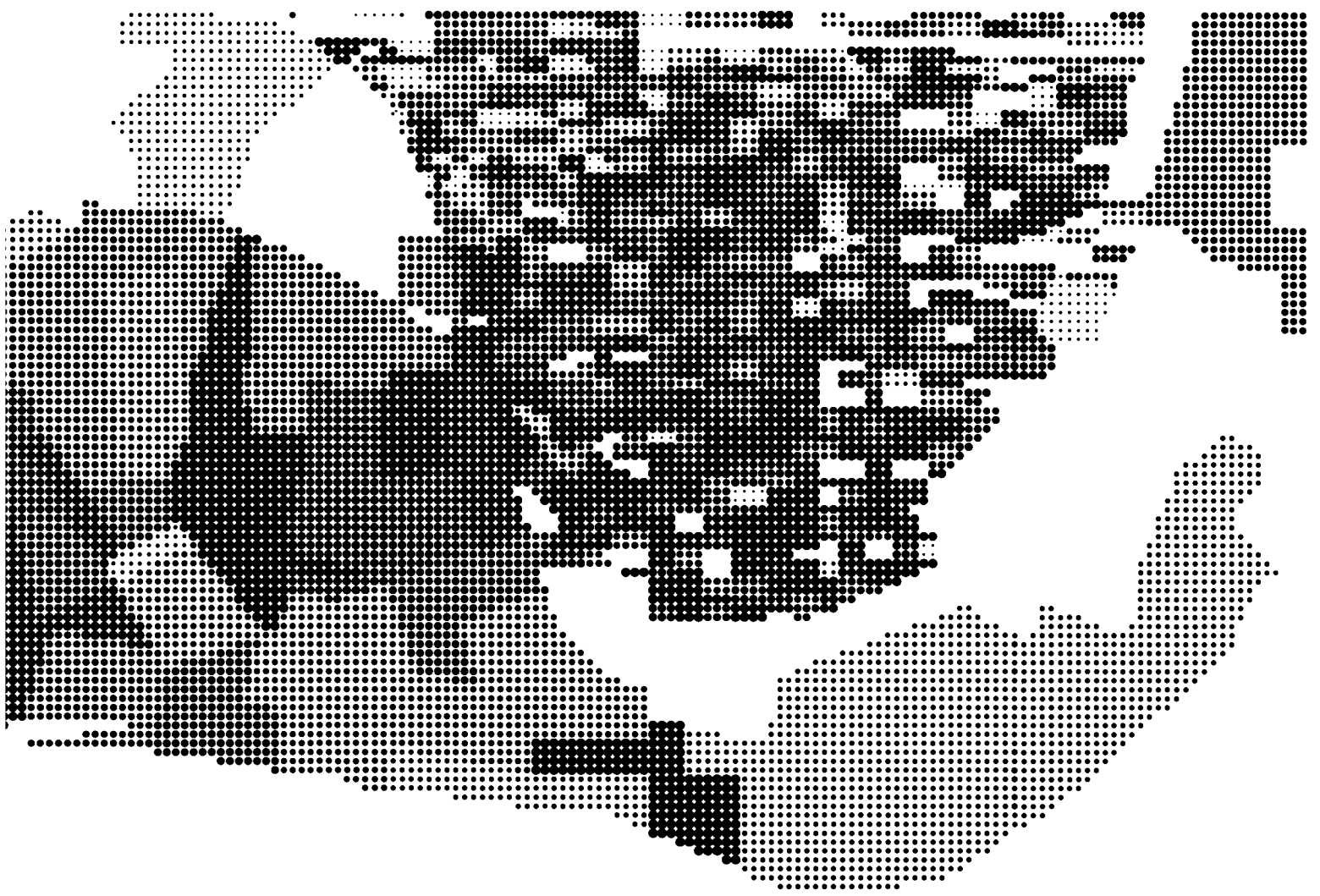
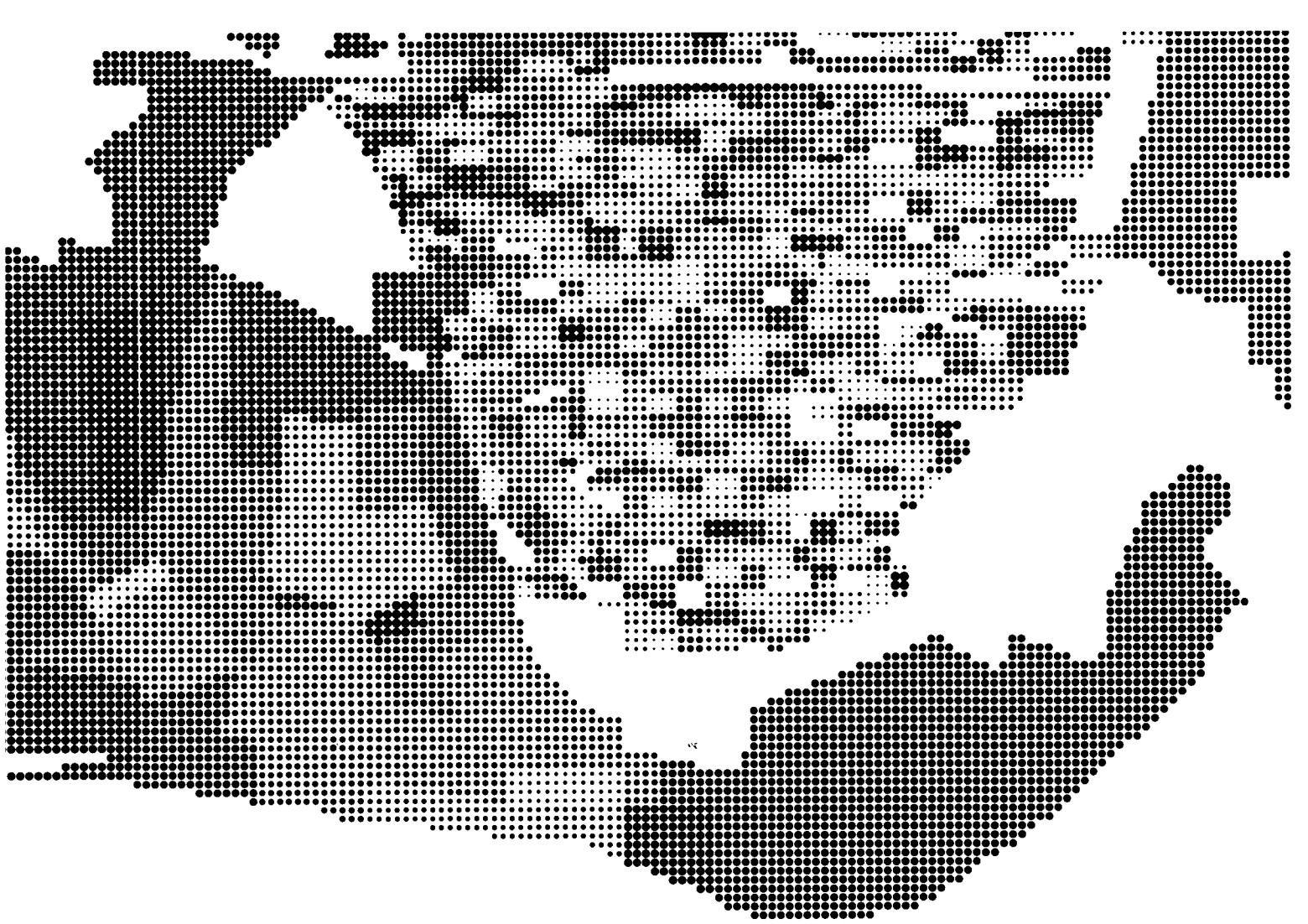
##### d) Exemple 4, *statut d'occupation : locataires*

Cette carte, réalisée également par ordinateur, traduit une statistique socio-économique, celle de la proportion de locataires sur l'ensemble des occupants.

Dans ces trois quartiers centraux et anciens de la ville, la proportion de locataires est élevée, aussi bien dans le secteur populaire que dans le secteur aisé du centre-ville. Les deux premiers sont constitués de bâtiments de rapport loués par des propriétaires non-résidents ; le troisième est occupé d'une part par des employés logés par leur administration (donc forte proportion de locataires ou assimilés), d'autre part par des fonctionnaires qui ont fait construire sur des parcelles réservées dont ils sont propriétaires. Les îlots correspondants sont alors figurés en trames claires, les locataires n'y sont pas nombreux, proportionnellement.







**DISPONIBILITÉ ET INFORMATIONS :**

- Orstom, 70-74 route d'Aulnay, 93140 BONDY, France.
- Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Laboratoire Graphique, 131 boulevard Saint-Michel, 75005 PARIS, France (pour la partie informatisée).

Reproduit avec l'autorisation de l'Orstom.

Cinquième partie

# **Annexes**



## 1. GLOSSAIRE

On trouvera ci-dessous la définition des termes spécialisés employés dans *Cartographie et Développement* et la définition des termes techniques couramment utilisés par les cartographes.

Ces définitions s'inspirent largement de celles du *Glossaire français de cartographie* rédigé par le Comité Français de Cartographie, dont une réédition, revue et mise à jour, est à paraître.

### **Actualisation**

Remplacement d'une information périmée par une information de même nature dans son état le plus récent.

### **Algorithme**

Ensemble des règles opératoires et des procédés définis en vue d'obtenir un résultat déterminé au moyen d'un nombre fini d'opérations.

### **Alpha-numérique**

Tout ensemble d'informations incluant des lettres, des chiffres, des signes de ponctuation, par opposition à numérique (nombres seulement), alphabétique (lettres seulement).

### **Altimétrie**

- 1) Ensemble des procédés de mesure des altitudes.
- 2) Indication de la position exacte des objets en altitude.

### **Amélioration d'une image**

Modification d'une image destinée à améliorer sa qualité et sa fidélité à l'objet représenté.

### **Amer**

Élément topographique naturel, rapporté ou construit spécialement pour cet usage, utilisable pour la navigation maritime par observation optique ou à l'aide du radar ou d'autres appareillages.

### **Anthropique**

Dû à la présence et à l'activité de l'homme et des sociétés humaines.

### **Assembleur (langage) ou Langage d'assemblage (en informatique)**

Langage propre à chaque type de machine qui, étant le plus proche du langage machine, permet des performances très supérieures au langage dit évolué (basic, fortran).

### **Atlas**

Recueil ordonné de cartes conçu pour présenter un espace donné et exposer un ou plusieurs thèmes.

### **Auteur (de cartes)**

- 1) Toute personne, groupe de personnes ou organisme qui assume le choix de l'information présentée par la carte et éventuellement a participé à la conception ainsi qu'au mode de représentation.
- 2) Au sens juridique : personne ou groupe de personnes physiques ou morales détentrices du droit de propriété attaché à la création de la carte.

### **Banque de données**

Ensemble de bases de données organisé pour être mis à la disposition des utilisateurs.

### **Base de données**

Ensemble de fichiers relatifs à un thème donné et associé à un logiciel permettant leur entretien et leur utilisation efficace.

### **Basic**

Abréviation de *Beginner's All purpose Symbolic Instruction Code*. Langage de programmation évolué utilisé sur la plupart des micro-ordinateurs.

### **Cadastre**

Identification des parcelles de la propriété foncière par la description de leurs limites et/ou leur représentation cartographique.

### **Canal (en télédétection spatiale)**

Gamme de longueurs d'onde du spectre électromagnétique enregistrée par un capteur.

### **Carroyage**

Cannevas plan constitué par deux familles de lignes droites ou de faible courbure délimitant des quadrilatères rectilignes ou curvilignes voisins de carrés ou de rectangles.

**Carroyage orthogonal (= quadrillage)**

Carroyage constitué par deux familles de droites perpendiculaires délimitant des carrés.

**Carte**

Représentation géométrique conventionnelle, en positions relatives, de phénomènes concrets ou abstraits, localisables dans l'espace.

**Carte actuelle**

Carte de réalisation la plus récente disponible pour une région et un sujet déterminés.

**Carte aéronautique**

Carte spécialement conçue pour les besoins de la navigation aérienne.

**Carte aéronautique du monde à 1/1 000 000**

Carte internationale destinée à la navigation aérienne à vue, devant couvrir toute l'étendue du globe terrestre et comportant un fond planimétrique détaillé de présentation uniforme.

**Carte chorographique**

Carte établie à une échelle suffisamment petite pour permettre la présentation des traits généraux d'une région, d'un ensemble de régions ou d'un continent.

**Carte déclassée**

Carte dont l'usage n'est plus officiel.

**Carte dérivée**

- 1) Carte ne comportant qu'une partie des données contenues dans une autre carte.
- 2) Carte réalisée d'après une ou plusieurs cartes de base.

**Carte muette**

Carte sur laquelle les toponymes et autres noms ne figurent pas.

**Carte nautique**

Carte représentant, sur un fond hydrographique plus ou moins détaillé, les éléments nécessaires à la navigation des bateaux de surface ou des sous-marins.

**Carte orographique**

Carte topographique représentant essentiellement le relief.

**Carte planimétrique**

Carte représentant essentiellement les éléments topographiques (à l'exclusion du relief).

**Carte périmée**

Carte dont le contenu ne correspond plus, en tout ou en partie, à la réalité actuelle.

**Carte régulière**

Carte établie à partir de levés d'une précision telle que l'erreur de donnée est inférieure à l'erreur graphique : sa fidélité égale sa précision.

**Cartographe**

- 1) Concepteur et/ou rédacteur des documents cartographiques.
- 2) Dessinateur spécialisé dans l'exécution des documents cartographiques destinés à l'impression.

**Cartographie**

Ensemble des études et des opérations scientifiques, techniques et artistiques intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration, de l'établissement et de l'utilisation de cartes, plans et autres modes d'expression.

**Cartographie assistée par ordinateur**

Technique cartographique utilisant un système de traitement automatique de l'information comportant un ordinateur et généralement des périphériques spécialisés.

**Carton (annexe d'une carte)**

Carte complémentaire d'une carte principale figurant sur la même feuille et souvent établie à une échelle différente.

**Cartothèque**

- 1) Local où sont classés et conservés des documents cartographiques.
- 2) Collection de documents cartographiques classés.

**Centre de données**

Organisme assurant la gestion d'une ou plusieurs banques de données.

**Clarté**

Qualité d'une carte associant la sélectivité et la lisibilité.

**Coordonnées géographiques (d'un lieu)**

Longitude et latitude astronomiques ou géodésiques de ce lieu.

**Complètement**

Opération topographique ayant pour but de préciser, compléter et contrôler un lever photogrammétrique.

**Composition colorée**

Représentation significative obtenue par combinaison de couleurs.

**Conception cartographique**

Recherche et choix des critères et des modes d'expression s'appliquant à la représentation cartographique (elle est faite en partie par l'auteur de la carte et en partie par le cartographe entre lesquels elle exige une étroite collaboration).

**Contenu (d'une carte)**

Ensemble des phénomènes représentés et des informations portées sur la carte.

**Conversationnel**

Traitement permettant le dialogue entre ordinateur et utilisateur sous forme de questions-réponses.

**Copie par contact**

Copie photomécanique d'une image sur support transparent ou translucide appliqué au contact de la couche sensible.

**Cote (d'altitude)**

- 1) Nombre exprimant l'altitude, positive ou négative, d'un point ou d'une courbe de niveau, par rapport au niveau de référence.
- 2) Par extension, synonyme d'altitude.

**Découpage**

- 1) Fractionnement en unités de champ plus petit d'une carte trop grande pour être exécutée d'un seul tenant.
- 2) Fractionnement en unités de champ défini de tout ou partie de la surface terrestre en vue de sa représentation cartographique.
- 3) Ensemble des unités résultant d'un des fractionnements précédents.

**Degré**

Unité de mesure de la circonférence terrestre.

**Diagramme**

Objet graphique mettant en relation deux ou plusieurs phénomènes.

**Ébauche**

Première forme, encore imparfaite, d'un document cartographique.

**Échelle graphique**

Ligne droite ou abaque matérialisant sur la carte l'échelle numérique.

**Échelle numérique**

Rapport d'une longueur mesurée sur une carte à la même longueur mesurée sur le terrain.

**Édaphiques (facteurs)**

Éléments du sol pris en tant que milieu biologique : sels minéraux, matière organique, eau, texture, etc.

**Éléments de conservation**

Documents conservés en archives pouvant être constitués par : des rédactions, des clichés, des copies sur plastique, des planches d'impression, des épreuves de tirage, etc., permettant de reconstituer des éléments de reproduction.

**Entrée (en informatique)**

Fonction d'un système de traitement de l'information, consistant à prendre en compte une donnée fournie sous forme convenable.

**Épreuve d'essai**

Document obtenu par procédé photomécanique ou par impression à partir des éléments de reproduction, en vue de leur vérification et de corrections éventuelles avant de procéder au tirage en série.

**Erreur (faute) cartographique**

Erreur (faute) globale résultant de l'ensemble des processus de rédaction, reproduction et impression cartographiques.

**Erreur graphique**

Erreur introduite lors de la rédaction, définie par l'écart entre la position théorique d'un élément graphique et son tracé.

**Erreur graphique moyenne**

Incertitude moyenne résultant de l'erreur graphique, généralement admise égale à 1/10 mm et indépendante de l'échelle du document.

**Esquisse**

Document graphique souvent provisoire, présentant l'aspect général d'un phénomène.

**Fausse couleur**

- 1) Couleur volontairement modifiée pour donner à l'observateur humain d'une scène de télédétection une perception différente de celle qu'il aurait naturellement.
- 2) Par extension, toute association de bandes spectrales colorées.

**Feuille** = coupure.

**Fiabilité**

Qualité exprimant le degré de confiance qui peut être accordé à tout ou partie de la carte.

**Fidélité**

Qualité d'une carte concernant le degré de conformité de son contenu avec les phénomènes représentés.



**Fond de carte**

- 1) Carte reproduite totalement ou partiellement, en une ou plusieurs couleurs souvent atténuées, servant de repère pour le report en surcharge de phénomènes localisables déterminés. Ex. : carte topographique utilisée comme support d'une carte d'inventaire géologique.
- 2) Carte utilisée mais non reproduite pour servir à la mise en place des éléments d'une nouvelle carte.

**Format**

Dimensions extérieures d'un document en largeur et en longueur.

**Format d'impression**

Dimensions maximales de l'image pouvant être imprimée par une machine.

**Format machine**

Dimensions maximales du support d'impression pouvant passer en machine.

**Fortran**

Abréviation de *Formula Translation*. Langage de programmation évolué conçu pour l'écriture des programmes de calcul scientifique. NB : bien qu'encore très utilisé, Fortran tend à être remplacé par des langages plus récents tels que Pascal.

**Généralisation cartographique**

Adaptation des données qualitatives et quantitatives, par allègement du nombre des détails et simplification caractérisée des formes des tracés, en vue de l'établissement d'une carte répondant à des conditions déterminées. NB : la généralisation ne s'applique pas uniquement à l'établissement d'une carte à l'échelle inférieure à celle de la documentation utilisée.

**Grammage**

Masse d'un papier exprimée en grammes au mètre carré.

**Graphique**

- 1) Science qui étudie les lois de la perception visuelle et ses applications au dessin.
- 2) Résultat de ces applications : dessin cartographique, diagrammes, dessin publicitaire.

**Habillage**

Ensemble des indications et des figures extérieures à la surface cartographiée.

**Horizon (en pédologie)**

Couche de sol plus ou moins parallèle à la surface et se différenciant des autres couches par ses caractères, ses propriétés et sa genèse. L'ensemble des horizons d'un sol constitue le profil.

**Image**

- 1) Représentation plane obtenue à partir d'un enregistrement structuré de données, saisi par télédétection spatiale.
- 2) Par extension, l'enregistrement qui permet d'obtenir cette représentation.

**Implantation zonale**

- 1) Phénomène se répartissant sur une surface déterminée, généralement représenté cartographiquement par une teinte ou un figuré couvrant la surface de l'espace concerné.
- 2) Représentation cartographique d'un phénomène par un figuré couvrant la surface de l'espace concerné.

**Individu statistique**

Unité dénombrable, vivante ou non, humaine ou non.

**Infographie**

Applications de l'informatique au traitement des données graphiques.

**Informatique**

Ensemble des disciplines et des techniques de traitement de l'information par des ordinateurs.

**Infrarouge proche**

Longueur d'onde de la lumière non perceptible à l'œil humain, 7 à 12 micromètres environ.

**Infrarouge thermique**

Longueurs d'onde comprises entre 3 000 et 10 000 micromètres environ, dont l'enregistrement donne des indications sur les températures des objets observés.

**Intensité**

Dans le langage courant, association de la pureté et de la clarté d'une couleur.

**Isoligne**

Ligne joignant des points d'égale valeur, déterminée ou estimée, concernant un phénomène.

**Italique**

Écriture penchée (en opposition à romain, écriture droite).

**Légende**

- 1) Tableau explicatif de toutes les conventions cartographiques permettant la lecture de la carte.
- 2) Mention figurant dans le champ de la carte, explicitant ou complétant un signe conventionnel ou fournissant un renseignement particulier.

**Levé**

Document résultant d'un lever.

**Lever**

Ensemble des opérations destinées à recueillir sur le terrain les données originales indispensables à l'établissement d'une carte.

**Lisibilité**

Qualité concernant la facilité de distinction et la netteté de perception visuelle du contenu d'une carte.

**Lissage**

Élimination, conformément à une règle déterminée, de détails d'une ligne tracée sur une carte.

**Logiciel** (américain et anglais *software*)

Programme ou ensemble de programmes destinés à la mise en œuvre d'un système de traitement de l'information.

**Mappon**

En pédologie, unité cartographique définie par un taxon.

**Maquette**

- 1) Prototype d'une carte ou d'une série de cartes présentées graphiquement sous leur aspect définitif.
- 2) Figurations en relief : représentation en 3 dimensions, à très grande échelle, d'un site géographique ou d'un ensemble architectural.

**Matériel** (américain et anglais *hardware*)

Élément ou ensemble d'éléments d'équipement physique, constituant d'un système de traitement de l'information.

**Matrice**

Planche de rédaction ou sa copie, archivée comme élément de conservation et servant à l'établissement des planches de tirage.

**Micro-ordinateur**

Ordinateur de table, conçu en général autour d'un micro-processeur de 8 bits.

**Mini-ordinateur**

Ordinateur conçu en général autour d'un processeur de 16 bits. Il permet davantage de précision dans les calculs, autorise le branchement de consoles et permet de travailler sur plusieurs programmes à la fois (ordinateur multitâche).

**Minute**

Document original, élaboré de façon précise, de présentation parfois imparfaite, servant de base pour la réalisation d'une carte.

**Minute**

Mesure de la circonférence terrestre, correspondant à un soixantième de degré.

**Mise à jour**

Opération qui rectifie certains éléments ou certaines zones d'une carte, intervenant après des modifications importantes, généralement localisées.

**Modèle de mise à jour**

Exemplaire de la dernière édition d'une carte sur lequel sont portées les modifications à effectuer et les rectifications éventuelles.

**Modem (modulateur-démodulateur)**

Appareil permettant la liaison entre ordinateurs différents.

**Moirage**

Phénomène d'ordre géométrique qui consiste en la formation d'images parasites par suite de la superposition de deux ou plusieurs figures de structure périodique présentant une différence de pas ou d'orientation.

**Mosaïque photographique**

Assemblage d'épreuves photographiques directement tirées, généralement par contact, de clichés aériens à axe vertical et qui sont juxtaposés en assurant au mieux le raccord des détails.

**Mosaïque photographique contrôlée**

Mosaïque photographique pour laquelle la mise à l'échelle de l'assemblage ou la mise en place respective des épreuves est assurée en s'appuyant sur quelques points connus identifiables.

**Multidate ou multitemporelle (analyse)**

Comparaison de données recueillies sur le même territoire et le même sujet à des dates différentes.

**Numérisation**

Transcription de l'information graphique en données *discrètes* (composées de nombres entiers distincts).

**Octets**

En informatique, unité de mesure de quantité d'information, souvent exprimée en kilo-octet (K) :  
1 K = 1 024 octets.

**Original**

Rédaction primitive d'un document cartographique.

**Orographie**

- 1) Relief
- 2) Représentation cartographique du relief.

**Orthophotographie**

Document photographique obtenu à partir de photographies aériennes en corrigeant les déformations perspectives de l'image (dus à l'inclinaison de l'axe de prise de vue et/ou au relief) de manière à reconstituer l'image de terrain telle qu'elle résulterait d'une projection orthogonale verticale.

**Orthophotoplan**

Document obtenu par assemblage d'orthophotographies et possédant les propriétés métriques d'une carte.

**Palier**

Degré intermédiaire, de valeur déterminée, dans l'échelle d'un système de représentation.

**Papier à cartes**

Papier spécialement fabriqué pour répondre à des conditions déterminées en vue de l'impression et de l'utilisation des cartes.

**Périphérique d'ordinateur**

Appareil permettant les entrées et les sorties de l'unité centrale et mémoires auxiliaires.

**Photocarte**

Photoplan comportant en surcharge l'indication de nombreux renseignements et adapté à un système de projection.

**Photoplan**

Assemblage d'épreuves photographiques (clichés aériens à axe vertical) individuellement redressées et mises à l'échelle, soit d'après un ensemble suffisant de points connus identifiables, soit par un système de triangulation photographique. Les points nécessaires au redressement et à la mise à échelle sont soit déterminés sur le terrain ou sur une carte, soit obtenus par une triangulation photographique.

**Photothèque**

- 1) Local où sont classés et conservés des documents photographiques.
- 2) Collection de documents photographiques classés.

**Pixel** (abréviation de *picture element*, élément d'image)

Plus petite surface homogène constitutive d'une image enregistrée, définie par les dimensions de la maille d'échantillonnage. Le terme est utilisé en télédétection spatiale et en informatique.

**Plan**

- 1) Carte représentant une surface d'étendue suffisamment restreinte pour que sa courbure puisse être négligée et que, de ce fait, l'échelle puisse être considérée comme constante.
- 2) Carte représentant une situation future.
- 3) Dans le langage courant, synonyme de carte (exemple : plan de ville).

**Plan cadastral**

Plan parcellaire général établi par le service du cadastre, indiquant également l'utilisation du sol.

**Planche (de cartes)**

Ensemble de cartes ou de cartons ayant souvent un thème commun, imprimé sur une même feuille.

**Planimétrie**

- 1) Représentation cartographique des éléments topographiques à l'exclusion du relief.
- 2) Technique ayant pour objet de déterminer, sur de courtes distances, la projection à l'horizontale d'éléments topographiques.

**Plastification**

Application d'une feuille de plastique ou d'un revêtement plastique transparent sur un document cartographique pour le protéger.

**Point astronomique**

Point dont les coordonnées géographiques astronomiques ont été déterminées à partir d'observations astronomiques précises effectuées en ce lieu.

**Point coté**

Point auquel est attribuée une cote d'altitude (sur le terrain et sur une carte).

**Point géodésique**

Point dont la latitude et la longitude géodésiques ont été déterminées avec précision.

**Population**

- 1) Ensemble des êtres humains habitant un lieu, exerçant une activité, etc.
- 2) Ensemble des individus statistiques (vivants ou non, humains ou non) étudié au cours d'une enquête statistique.

**Précision**

Qualité d'une carte dont l'erreur cartographique est faible.

**Processeur**

Cœur de l'unité centrale d'un ordinateur, chargé d'exécuter les traitements et comprenant l'unité de commande et l'unité de calcul.

**Profil (en pédologie)**

Coupe verticale dans un sol et description des horizons qui le composent.

**Programme**

Ensemble ordonné d'instructions élémentaires écrit dans un langage compréhensible par l'ordinateur.

**Projection cartographique**

Transformation par laquelle on fait correspondre à tout point de la surface de la terre un point d'une surface plane.

**Quadrichromie**

- 1) Procédé de reproduction à l'aide de quatre couleurs à partir desquelles on peut obtenir toutes les autres.
- 2) Document obtenu par ce procédé.

**Ratio**

Rapport entre deux grandeurs servant d'indicateurs.

**Rédaction cartographique**

- 1) Opération consistant à représenter graphiquement sous forme conventionnelle, en position précise et avec la qualité graphique du document édité, l'ensemble des informations constituant le contenu de la carte.
- 2) Par association avec la rédaction d'un texte, les auteurs emploient souvent les mots *rédaction cartographique* pour désigner la conception scientifique des cartes.

**Réfection**

Opération qui consiste à refaire la rédaction de l'ensemble d'une carte ou de certains de ses éléments constitutifs, en modifiant éventuellement les modes d'expression ou les représentations.

**Repérage**

Mise en place relative correcte des images de différentes planches au cours des opérations de rédaction, de reproduction ou d'impression.

**Réseau**

Figure constituée par un ensemble de lignes tracées sur une surface.

**Réseau géographique**

Réseau constitué par les méridiens et les parallèles.

**Résolution**

Aptitude à rendre distincts deux points voisins sur une image.

**Résolution au sol (limite de)**

Plus petite distance sur le terrain entre deux points-objets apparaissant distincts sur l'image.

**Restauration**

Ensemble de traitements géométriques et radiométriques destinés à rétablir des caractères fondamentaux d'une image telle que la fournirait un système d'acquisition sans défauts.

**Révision**

Opération qui rectifie systématiquement la totalité d'une carte en tenant compte de toutes les additions et modifications intervenues depuis l'élaboration de la carte ou depuis la révision précédente.

**Romain**

Écriture droite (en opposition à italique, écriture penchée).

**Scène**

- 1) Image graphique d'un élément de la surface terrestre, élaborée à partir d'appareils divers ou des données d'un ou plusieurs capteurs généralement aéro-spatiaux (satellites).
- 2) Unité de territoire standard du système.

**Schématisation**

Action de représenter un phénomène en ne figurant que ses traits essentiels.

**Sélectivité**

Qualité d'une carte où les phénomènes sont judicieusement choisis et représentés.

**Sémiologie (graphique)**

Étude des signes graphiques, de leurs propriétés et de leurs rapports avec les éléments de l'information qu'ils expriment.

**Signature spectrale**

Ensemble des caractéristiques conditionnant l'interaction du rayonnement électromagnétique avec la matière, qui sont nécessaires et suffisantes pour identifier une surface déterminée.

**Signe conventionnel**

Symbole, évocateur ou non, placé sur la carte en position réelle. N.B. : sa dimension doit être suffisante pour l'identifier aisément mais aussi réduite que possible pour limiter le décalage planimétrique.

**Sol (en pédologie)**

Formation naturelle de surface résultant de la transformation de la roche par divers processus physiques, chimiques et organiques.

**Sortie (en informatique)**

- 1) Fonction d'un système de traitement de l'information consistant à transférer un résultat sur un support extérieur au système.
- 2) Résultat de cette opération.

**Stencil**

Papier paraffiné perforé à la main ou à la machine à écrire, utilisé comme pochoir pour la reproduction d'un texte ou d'une image.

**Stencil électronique**

Support analogue au stencil, dont les perforations sont produites par des étincelles commandées par une cellule photo-électrique balayant le modèle.

**Stéréominute**

Document graphique original établi par restitution photogrammétrique.

**Stéréoscopie**

Procédé permettant de restituer l'impression visuelle du relief à partir de deux images planes d'un même sujet.

**Stratification (statistique)**

Découpage d'une population effectué pour améliorer la représentativité d'un sondage et/ou pour faciliter une interprétation.

**Sujet (d'une carte)**

Catégorie de phénomènes dont la représentation fait l'objet de la carte, éventuellement mentionné dans le titre.

**Support d'impression**

Feuille de papier, de plastique ou éventuellement d'un autre matériau, destinée à recevoir une image imprimée.

**Surcharge**

Complément d'information, mise en valeur ou correction, ajoutés sur un document cartographique.

**Symbole**

Représentation graphique, colorée ou alpha-numérique, affectée à un phénomène pour faciliter sa désignation et suggérer l'aire qu'il occupe.

**Symbole proportionnel**

Symbole dont la dimension augmente de façon continue avec la valeur du phénomène représenté.

**Symbolisation**

- 1) Élaboration de symboles.
- 2) Transcription de l'information par des symboles.

**Taxon**

Unité systématique (espèce, genre, famille, etc.).

**Taxonomie ou Taxinomie**

Science de la classification, classification elle-même.

**Téledétection**

Ensemble des moyens, des techniques et des résultats de l'observation de la surface terrestre à distance. On distingue téledétection aérienne et téledétection spatiale, selon le porteur des capteurs : aéronef (avion ou ballon) et satellite en orbite autour de la terre.

**Teinte significative**

Teinte conventionnellement employée en cartographie pour représenter un phénomène déterminé auquel elle se trouve associée de façon évocatrice.

**Terroir**

- 1) Territoire agricole potentiel.
- 2) Territoire aménagé par l'homme.
- 3) Territoire administré et exploité par une communauté rurale.

**Ton**

Longueur d'onde dominante d'une couleur.

**Topographie**

Technique ayant pour objet l'exécution et l'exploitation des observations concernant la position planimétrique et altimétrique, la forme, les dimensions et l'identification des éléments concrets fixes et durables existant à la surface de la terre.

**Toponymie**

- 1) Ensemble des noms de lieux figurant sur une carte.
- 2) Science de l'étude des noms de lieux.

**Trame**

- 1) Image constituée le plus souvent par un réseau périodique de structure généralement peu perceptible à l'œil destiné à réaliser des tramés.
- 2) Par extension, réseau périodique de structure perceptible à l'œil destiné à différencier des zones ou des surfaces. Dans ce dernier cas, le terme **poncif** est plus judicieux.

**Tramé**

- 1) Fractionnement d'une image en un ensemble de fins éléments disjoints.
- 2) Résultat de ce fractionnement obtenu par procédé photomécanique pour permettre l'impression d'aplats de valeur différente ou de demi-teintes.

**Vernissage**

Application d'un vernis transparent sur un document cartographique pour le protéger.

## 2. DOCUMENTS D'INFORMATION ET OUVRAGES CITÉS

Les titres énumérés ici sont ceux des documents utilisés pour la rédaction de *Cartographie et Développement* et ceux des documents cités ou présentés en illustration. Ces derniers sont signalés par un astérisque.

Cette liste bibliographique très succincte permettra au lecteur d'approfondir quelques sujets techniques volontairement peu développés dans le corps de l'ouvrage.

### 2.1. Liste alphabétique par auteurs

- BERTIN J., 1967 : *Sémiologie graphique*, 1<sup>o</sup> édition, Gauthier-Villars, Paris.
- BERTIN J., 1968 : La représentation graphique, *Encyclopaedia Universalis*, Paris.
- BERTIN J., 1974 : *Sémiologie graphique*, 2<sup>o</sup> édition, Gauthier-Villars, Paris.
- BERTIN J., 1977 : *La graphique et le traitement graphique de l'information*, Flammarion, Paris.
- BONIN S., 1975 : *Initiation à la graphique*, éditions de l'Épi, Paris (1).
- BOULAIN J., 1966 : Sur la précision des cartes pédologiques, *Cahiers de l'ORSTOM, série pédologie*, vol. IV, n<sup>o</sup> 1.
- BOULAIN J., 1981 : *Cours de pédologie typologique*, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, polycopié.
- BOULET R., 1968 : *Étude pédologique de la Haute-Volta*, ORSTOM, Paris ; Ministère de l'Économie Nationale, Direction du Génie Rural, Ouagadougou.
- \*BOULET R. (sous la direction de), 1968-1973 : *Carte pédologique de reconnaissance de la Haute-Volta*, 1/500 000, ORSTOM, Paris, 5 planches couleurs.
- \*BOULET R. et FAUCK R., 1976 : *Carte de ressources en sols de la Haute-Volta*, 1/500 000, ORSTOM, Paris, 5 planches couleurs, une notice de 97 pages.
- CHEVALLIER R. (sous la direction de), 1965 : *Photographie aérienne, panorama intertechnique*, Gauthier-Villars, Paris.
- COUZY A., 1981 : *La télédétection*, Presses Universitaires de France, Paris, Collection Que sais-je ?, n<sup>o</sup> 1919.
- \*DEVAUGES R., inédit : *Recueil cartographique sur la ville de Brazzaville* (titre provisoire), à paraître, ORSTOM, 108 cartes monochromes.
- DUCHEMIN J.P., 1972 : Élaboration d'une carte de densité par isolignes, *Cahiers de l'ORSTOM, série sciences humaines*, vol. IX, n<sup>o</sup> 2.
- ÉLACHIC. et FONTANEL A., 1981 : L'observation de la terre par radar, *La Recherche*, n<sup>o</sup> 128, décembre 1981 (2).
- GAGNON H., 1974 : *La photographie aérienne : son interprétation dans les études de l'environnement et de l'aménagement du territoire*, éditions HRW, Montréal (3).
- GAUSSEN H., 1957 : *Les cartes de végétation*, Travaux de la section scientifique et technique, tome 1, fascicule 2, Institut Français de Pondichéry, Pondichéry (Union Indienne).
- HURAUULT J., 1963 : *Applications de la photographie aérienne aux recherches de sciences humaines dans les régions tropicales*, mémoires de photo-interprétation n<sup>o</sup> 1, École Pratique des Hautes Études - Sorbonne.
- KILIAN J., 1974 : Étude du milieu physique en vue de son aménagement, conceptions de travail, méthodes cartographiques, *L'Agronomie Tropicale*, tome XXIX, n<sup>o</sup> 2-3, IRAT, Nogent-sur-Marne.
- KING D., 1981 : *Description des unités cartographiques de sols*, Institut National de la Recherche Agronomique, Versailles.
- KOECHLIN J., 1975 : *Carte écologique du département de Maradi au sud de la vallée de Tarka* (République du Niger), DGRST-Universités de Bordeaux II et Bordeaux III, Talence, une feuille noir et blanc.
- LORTIC M.C., 1977 : *La photographie et la reprographie au laboratoire de graphique*, les dossiers de la graphique, Laboratoire graphique de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, multigraphié (4).
- LORTIC M.C., 1980 : *Techniques photochimiques appliquées à la télédétection*, Laboratoire graphique - Laboratoire de télédétection, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, multigraphié (4).
- LENCO M., 1982 : Télédétection et ressources naturelles, *Nature et Ressources*, vol. XVIII, avril-juin 1982, UNESCO, Paris.

(1) Éditions de l'Épi, 68 rue de Babylone, 75006 Paris.

(2) La Recherche, 57 rue de Seine, 75280 Paris Cedex 06.

(3) HRW éditeur, 8035 Est rue Jarry, Montréal H1J1H6, Canada.

(4) Sur demande à Laboratoire Graphique EHESS, 131 boulevard Saint-Michel, 75005 Paris.

- MAC HARG I., 1980 : Composer avec la nature, *Cahiers de l'IAURIF*, n° 58-59, Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Paris.
- MARCHAL J.Y., 1979 : La cartographie et ses utilisateurs en pays africains, à propos de la Haute-Volta, *Cahiers de l'ORSTOM, série sciences humaines*, vol. XVI, n° 3.
- \*PERMINGEAT F., SAGATSKY J. et BOLGARSKY M., 1965 : *Carte des gîtes minéraux de la République du Sénégal*, 1/500 000, BRGM, Orléans, 4 coupures couleurs, notice, fichier.
- REEVES R.G., 1975 : *Manual of Remote Sensing*, American Society of Photogrammetry, Falls Church, USA, 2 volumes.
- SMITH J.T. Jr editor, 1968 : *Manual of Color Aerial Photography*, American Society of Photogrammetry, Falls Church, USA.
- TEISSIER J., 1974 : Le terroir de Mogtedo (Haute-Volta), étude morphopédologique en vue de la mise en valeur des terres, *L'Agronomie Tropicale*, tome XXIX, n° 2-3, IRAT, Nogent-sur-Marne.
- TOUTAIN B. et de WISPELAERE G., 1977 : *Pâturages de l'ORD du Sahel et de la zone de délestage au nord-est de Fada n'Gourma (Haute-Volta)*, IEMVT-Maisons-Alfort, Ministère du Développement Rural, Direction des services de l'élevage et des industries animales, Ouagadougou ; 2 volumes, 17 cartes couleurs.
- \*TOUTAIN B. et de WISPELAERE G., 1978 : *Carte des ressources fourragères*, République de Haute-Volta, IEMVT-Maisons-Alfort, Ministère du Développement rural, Ouagadougou, 1/200 000, 3 coupures couleurs.
- VERGER F., 1982 : *L'observation de la terre par les satellites*, Presses Universitaires de France, Collection Que sais-je ?, n° 1989, Paris.

## 2.2. Ouvrages collectifs

- \**Atlas de Côte d'Ivoire*, 1972-1979, ORSTOM-Paris, Université d'Abidjan - Abidjan, nombreuses cartes couleurs et noir et blanc.
- \**Carte de l'Afrique de l'Ouest à 1/200 000*, Institut Géographique National, Paris, couverture systématique, couleurs.
- \**Carte des conditions géographiques de la mise en valeur agricole de Madagascar, thème 1 : potentiel des unités physiques*, ORSTOM-Paris, Direction de la recherche scientifique et technique - Antananarivo, 1/1 000 000, 3 feuilles couleurs, notice de 187 pages.
- \**Carte des cultures et de la végétation naturelle d'Haïti*, 1981, SFERES, Paris ; DATPE, Port-au-Prince, noir et blanc.
- \**Carte géologique commune au Togo et au Bénin*, 1978, Conseil de l'Entente, BRGM (Orléans), 1/200 000, noir et blanc.
- Cartographie informatisée et géographie humaine*, 1978-1979, Rapport final CNRS-ATP 3448, Universités de Paris VI, Strasbourg, Rouen (CRADER), 3 volumes, multigraphiés.
- \**Cartographie des savanes favorables à la reforestation*, littoral congolais au Sud du Kouilou, 1982, CTFT, Nogent-sur-Marne, noir et blanc.
- Commande des travaux cartographiques (Ia)*, 1977, Secrétariat des Missions d'Urbanisme et d'Habitat (SMUH) - Institut Géographique National, Paris.
- Espace naturel et développement régional, un travail collectif de cartographie sur Madagascar, principes, méthodes, applications*, 1975, Journées géographiques de Nice, ORSTOM, Paris.
- Essai de géographie des risques écologiques*, 1975, Ministère de l'Environnement, La Documentation Française, Paris.
- Exécution et exploitation des photographies aériennes infrarouges*, 1958, service de photogrammétrie, IGN, Paris, 2 fascicules.
- Manuel de photo-interprétation*, 1970, Éditions Technip, Paris.
- Mémento de l'Agronome Tropical*, 1980, BDPA-Ministère de la Coopération, Paris.



### 3. ADRESSES UTILES

Afin de ne pas surcharger l'ouvrage par des indications trop nombreuses et forcément incomplètes, nous avons choisi de ne citer ici que deux catégories d'adresses :

- celles des institutions publiques et privées qui ont un siège social en France ;
- celles des institutions internationales très connues et celles des organismes diffuseurs de données satellitaires (de données Landsat en particulier).

Ces listes n'ont pas la prétention d'être complètes ; la collaboration des lecteurs de *Cartographie et Développement* nous aidera à rendre cet inventaire plus exhaustif ultérieurement.

#### 3.1. Les institutions implantées en France

Les organismes énumérés ici sont ceux qui ont été cités dans les chapitres précédents et ceux auxquels appartiennent les membres du groupe de travail DECADE ; ce sont les instituts de recherches spécialisés dans les travaux cartographiques et dans les travaux relatifs aux méthodes et aux disciplines abordées, les universités dispensant un enseignement sur ces sujets, les organismes publics et privés de conception et de rédaction cartographique. De façon générale, ce sont ceux qui, en France, participent à la recherche et à l'exécution cartographique d'une part, à la recherche et à l'exécution de travaux sur le développement d'autre part.

Chaque fois que cela a paru utile, les thèmes couramment traités par chacun de ces organismes ont été précisés.

AMIRA, groupe de travail sur l'amélioration des méthodes d'investigation en milieu rural africain,  
INSEE, Service Coopération  
18, boulevard Adolphe Pinard  
75014 PARIS

Association Française pour le Développement de l'Expression Cartographique (AFDEC)  
25, rue Jules Guesde  
75014 PARIS

Banque Mondiale (World Bank)  
66, avenue d'Iéna  
75016 PARIS  
*Décision, développement, économie, finances*

Bibliothèque Nationale  
Département des Cartes et Plans  
58, rue de Richelieu  
75002 PARIS

Bureau de Cartographie Géologique Internationale  
Université PARIS XI  
Bâtiment 470  
91405 ORSAY  
*Cartes géologiques à petite échelle*

Bureau Central d'Études pour les Équipements d'Outre-Mer (BCEOM)  
15, square Max Hymans  
75015 PARIS

Bureau pour le Développement de la Production Agricole (BDPA)  
27, rue Louis-Vicat  
75738 PARIS Cedex 15

Bureau de Liaison des Agents de Coopération Technique (BLACT-CFECTI)  
6, rue de Marignan  
75008 PARIS

Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)  
BP 6009 ORLÉANS Cedex  
*Géologie et disciplines associées*

Caisse Centrale de Coopération Économique  
Cité du Retiro  
35-37, rue Boissy d'Anglas  
75379 PARIS Cedex 08

Centre d'Écologie des Ressources renouvelables  
29, rue Jeanne Marvig  
BP 4009  
31055 TOULOUSE Cedex  
*Recherches cartographiques en écologie*

Centre d'Enseignement et de Recherche pour la Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement (CERGRENE)  
17, avenue de Choisy  
75013 PARIS

Centre d'Études Géographiques  
Rue Salomon Malhangu  
80025 AMIENS Cedex

Centre d'Études de Géographie Tropicale (CEGET)  
Domaine Universitaire  
33415 TALENCE

Centre d'Études du Machinisme Agricole, du Génie Rural et des Eaux et Forêts (CEMAGREF)  
Parc de Tourvoie  
92160 ANTONY

Centre d'Études Phyto-sociologiques  
(Centre Louis Emberger) (CEPE)  
BP 5051  
34033 MONTPELLIER Cedex  
*Végétation*

Centre d'Études et de Réalisation Cartographiques Géographiques (CERCG)  
191, rue Saint-Jacques  
75005 PARIS

Centre Interdisciplinaire d'Études Urbaines  
109 bis, rue Vauquelin  
31058 TOULOUSE Cedex

Centre Interdisciplinaire de Recherches sur les Milieux Naturels et l'Aménagement Rural  
109 bis, rue Vauquelin  
31058 TOULOUSE Cedex

Centre International de Service Informatique (CISI)  
35, boulevard Brune  
75680 PARIS Cedex 14

- Centre National d'Études Spatiales (CNES)  
129, rue de l'Université  
75007 PARIS  
*Téledétection spatiale*
- Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)  
Administration Centrale  
Service des Publications  
29, quai Anatole France  
75007 PARIS  
*Tous sujets relevant de l'inventaire des ressources terrestres et des sciences humaines*
- Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)  
Centre de documentation  
26, rue Boyer  
75020 PARIS
- Centre de Perfectionnement pour le Développement et la Coopération Économique et Technique (CPDCET)  
21, rue du Port  
91350 GRIGNY
- Centre de Recherches sur l'Aménagement et le Développement Rural (CRADER)  
Université de Rouen  
Place Émile Blondel  
76130 MONT-SAINT-AIGNAN  
*Informatique et sciences humaines*
- Centre de Recherches pour le Développement International (CRDI)  
63, boulevard des Invalides  
75007 PARIS
- Centre de Recherches Régionales  
Université de Strasbourg  
43, rue Goethe  
67000 STRASBOURG
- Centre Technique Forestier Tropical (CTFT)  
45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle  
94130 NOGENT-SUR-MARNE  
*Centre de documentation, publications*  
*Forêts, végétation, climat*
- Chambre Syndicale Nationale des Industries Graphiques de Reproduction  
142, boulevard Saint-Germain  
75278 PARIS Cedex 06
- Comité Français de Cartographie  
39 ter, rue Gay-Lussac  
75005 PARIS  
*Tous sujets relatifs aux cartes, à la cartographie et aux cartographes*
- Compagnie Française d'Études et de Topographie (COFET)  
2, rue de la Clôture  
75019 PARIS
- Compagnie Française des Pétroles  
39-43, quai André Citroën  
75739 PARIS Cedex 15  
*Formation, information en téledétection (entre autres)*
- Coopération et Aménagement,  
Agence pour l'Aménagement et le Développement à l'Étranger  
35, rue des Francs-Bourgeois  
75004 PARIS
- École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS)  
Laboratoire Graphique  
131, boulevard Saint-Michel  
75005 PARIS
- École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS)  
Laboratoire de photo-interprétation et de téledétection  
54, boulevard Raspail  
75270 PARIS Cedex 06
- École des Sciences Géographiques  
Institut Géographique National  
2, avenue Pasteur  
94160 SAINT-MANDÉ
- École Supérieure de Cartographie Géographique  
191, rue Saint-Jacques  
75005 PARIS
- Éditions Maritimes et d'Outre-Mer, éditeur  
17, rue Jacob  
75006 PARIS
- Encyclopaedia Universalis, éditeur  
10, rue Vercingétorix  
75680 PARIS Cedex 14
- Gauthier-Villars, Bordas, Dunod, éditeur  
17, rue Rémy Dumoncel  
75014 PARIS
- Groupe de Démographie Africaine  
INSEE, service de Coopération  
18, boulevard Adolphe Pinard  
75014 PARIS
- Groupe de Recherche et d'Échanges Technologiques (GRET)  
31, rue de Charonne  
75011 PARIS  
*Agriculture, développement*
- Groupement pour le Développement de la Téledétection Aérospatiale (GDTA)  
18, avenue Édouard Belin  
31055 TOULOUSE Cedex  
*Recherche et formation sur la téledétection spatiale*
- Groupement d'Études et de Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale, Centre International de Recherches Agronomiques pour le Développement (GERDAT-CIRAD)  
42, rue Scheffer  
75016 PARIS
- Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Île-de-France (IAURIF)  
21-23, rue Miollis  
75732 PARIS Cedex 15
- Institut de la Carte Internationale du Tapis Végétal  
Université de Toulouse III  
39, allée Jules Guesde  
31400 TOULOUSE  
*Phytogéographie et milieux des régions arides et tropicales*
- Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux (IEMVT)  
10, rue Pierre Curie  
94700 MAISONS-ALFORT  
*Agrostologie, climat, élevage, pédologie, végétation*
- Institut français pour la recherche et le développement en coopération  
voir Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (Orstom)
- Institut Géographique National (IGN)  
Administration centrale  
136 bis, rue de Grenelle  
75007 PARIS  
*Cartographie, cartes*
- Institut Géographique National (IGN)  
Services techniques, Centre de Documentation, Carthèque, Photothèque  
École des Sciences Géographiques  
2, avenue Pasteur  
94160 SAINT-MANDÉ

Institut Géographique National (IGN)  
Bureau de vente de cartes  
107, rue La Boétie  
75008 PARIS

Institut National Agronomique (INA)  
16, rue Claude Bernard  
75005 PARIS

Institut National de la Statistique et des Études  
Économiques (INSEE)  
18, boulevard Adolphe Pinard  
75014 PARIS

Institut National d'Études Démographiques (INED)  
27, rue du Commandeur  
75014 PARIS

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)  
Route de Saint-Cyr  
78000 VERSAILLES  
*Agriculture, agronomie, climat, élevage, pédologie,  
végétation*

Institut de Recherches en Agronomie Tropicale (IRAT)  
Direction générale et Services scientifiques  
45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle  
94130 NOGENT-SUR-MARNE  
et BP 5035  
34032 MONTPELLIER Cedex

Intergéo  
191, rue Saint-Jacques  
75015 PARIS  
*Organisme de concentration et de diffusion de toutes  
informations relatives à la géographie dans le monde*

Laboratoire de l'Atlas Régional du Languedoc-Roussillon  
Route de Mende  
34032 MONTPELLIER Cedex

Laboratoire de Biologie Végétale  
Université de Grenoble I  
BP 53  
38041 GRENOBLE Cedex  
*Recherches cartographiques appliquées au climat  
et à l'hydrologie*

Laboratoire de Cartographie Thématique  
12, rue Goethe  
67000 STRASBOURG

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées  
58, boulevard Lefèbvre  
75015 PARIS

Laboratoire de Géochronologie du CNRS  
Institut de Géologie  
5, rue Kessler  
63000 CLERMONT-FERRAND

Laboratoire de Géographie  
École Normale Supérieure  
1, rue Maurice Arnoux  
92120 MONTROUGE  
*Téledétection Spatiale*

Laboratoire de Géographie Physique  
Université de Besançon  
30, rue Mégevand  
25030 BESANÇON Cedex  
*Recherches sur la cartographie des paysages et analyse  
des systèmes producteurs*

Laboratoire de Géographie Tropicale  
et du Sous-développement  
98, boulevard Édouard Henriot  
06036 NICE Cedex

Laboratoire de Géomorphologie  
15, boulevard de la Mer  
35800 DINARD  
*Géomorphologie littorale et sous-marine*

Ministère des Relations Extérieures, Coopération  
et Développement  
Centre de Documentation  
Service des Publications  
1 bis, avenue de Villars  
75007 PARIS  
*Tous thèmes relatifs au développement et aux disciplines  
associées*

Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie  
Délégation à la Qualité de la Vie  
14, boulevard du Général Leclerc  
92251 NEUILLY-SUR-SEINE Cedex

Ministère de l'Industrie et de la Recherche  
Mission Scientifique et Technique  
1, rue Descartes  
75005 PARIS

Office de la Recherche Scientifique et Technique  
Outre-Mer (ORSTOM)  
Administration centrale :  
24, rue Bayard  
75008 PARIS

Office de la Recherche Scientifique et Technique  
Outre-Mer (ORSTOM)  
Services Scientifiques Centraux, centre de documentation,  
service de publications et de diffusion :  
70-74, route d'Aulnay  
93140 BONDY  
*Toutes disciplines relatives aux ressources terrestres,  
sciences sociales, téledétection aérienne et spatiale,  
infographie. Publications cartographiques.*

Organisation de Coopération et de Développement  
Économiques (OCDE)  
2, rue André Pascal  
75775 PARIS Cedex 16

Presses Universitaires de France (PUF), éditeur  
108, boulevard Saint-Germain  
75006 PARIS

Service du Cadastre  
Direction Générale des Impôts  
1, rue des Mathurins  
75436 PARIS Cedex 9

Service Central des Enquêtes et Études Statistiques  
(SCEES)  
Ministère de l'Agriculture  
4, avenue de Saint-Mandé  
75570 PARIS Cedex 12  
*Agriculture, environnements, téledétection, infographique*

Service Hydrographique et Océanographique de la Marine  
(SHOM)  
3, avenue Octave Gréard  
75007 PARIS  
Diffusion des cartes :  
13, rue du Chatellier  
BP 426  
29275 BREST Cedex  
*Cartes marines*

Société d'Aide Technique et de Coopération (SATEC)  
110, rue de l'Université  
75007 PARIS  
*Études de développement, aménagement, planification*

Société Cartographique de France  
48, rue de Charenton  
75012 PARIS

Société Centrale pour l'Équipement du Territoire  
(SCET Inter)  
4, place Raoul Dautry  
75015 PARIS

SCET Agri  
27, rue Louis Vicat  
75015 PARIS

Société d'Études pour le Développement Économique et Social (SEDES) 105 ter, rue de Lille 75007 PARIS	Union Graphique Parisienne 153, rue de Belleville 75019 PARIS
Société d'Études et de Réalisations Graphiques et Cartographiques 3 bis, rue de Stoxey 57000 METZ	Universités de Bordeaux II et Bordeaux III U.E.R. de géographie Domaine Universitaire 33405 TALENCE
Société Française d'Études et de Réalisations Cartographiques 5, rue Papillon 75009 PARIS	Université de Bordeaux III Institut de Géographie et d'Études Régionales Domaine Universitaire 33405 TALENCE
Société Française d'Études et de Réalisations Scientifiques (SFERES) 58, rue Aristide Briand 92120 MONTROUGE <i>Agronomie, environnements, cartographie, télédétection aérienne et spatiale</i>	Université de Caen U.E.R. des sciences de la terre et de l'aménagement régional Esplanade de la Paix 14032 CAEN Cedex
Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection 2, avenue Pasteur 94160 SAINT-MANDÉ	Université de Montpellier III Section géographique BP 5043 34032 MONTPELLIER Cedex
Société Graphique et Cartographique 83, rue Blomet 75015 PARIS	Université de Paris I U.E.R. de géographie 191, rue Saint-Jacques 75005 PARIS
Société MATRA, Division des Systèmes de Contrôle et d'Optique (DSCO) BP 209 92505 RUEIL-MALMAISON Cedex	Université de Paris VII U.E.R. de géographie et des sciences de la société 2, place Jussieu 75005 PARIS
Société WILD-LEITZ France BP 107 92504 RUEIL-MALMAISON	Université de Paris VIII U.E.R. de géographie 2, rue de la Liberté 93526 SAINT-DENIS Cedex 2 <i>Géographie du développement</i>
SPOT-Image 18, avenue Édouard Belin 31055 TOULOUSE Cedex <i>Informations relatives au satellite SPOT</i>	Université de Paris X U.E.R. de géographie 200, avenue de la République 92001 NANTERRE Cedex
TECHNIP Éditions 27, rue Gignoux 75737 PARIS Cedex 15	Université de Strasbourg I Section de géographie 43, rue Goethe 67083 STRASBOURG Cedex
Télédétection de l'occupation du sol en milieu aride et sud-méditerranéen 84, rue de Buzenval 75020 PARIS	Université de Tours U.E.R. Aménagement-Géographie-Informatique Parc de Grandmont 37200 TOURS
UNESCO Département publications-diffusion 7, place de Fontenoy 75007 PARIS	

## 3.2. Organismes internationaux

Academia Sinica  
Landsat Ground Station  
BEIJING  
PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

Agence Spatiale Européenne (European Space Agency,  
ESA)  
Earthnet User Services  
Via Galileo Galilei  
00044 FRASCATI  
ITALIA

American Society of Photogrammetry  
105 N. Virginia Avenue  
FALLS CHURCH  
VIRGINIA 22046  
USA

Australian Landsat Station  
14-16 A Oatley Court  
PO Box 28  
BELCONNEN ACT 2616  
AUSTRALIA

Canadian Center for Remote Sensing (CCRS)  
717 Belfast Road  
OTTAWA ONTARIO K1A0Y7  
CANADA

Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou  
BP 182  
OUAGADOUGOU  
HAUTE-VOLTA

Comision Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE)  
Centro de Procesamiento  
Dorrego 4010  
1425 BUENOS AIRES  
ARGENTINA

Environmental Research Institute of Michigan (ERIM)  
PO Box 8618  
ANN ARBOR  
MICHIGAN 48107  
USA

Eros Data Center  
U.S. Geological Service  
SIOUX FALLS  
SOUTH DAKOTA 57198  
USA

Food and Agricultural Organisation (FAO)  
Via delle terme di Caracalla  
00100 ROMA  
ITALIA

Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)  
Departamento de Producao de Imagens  
ATUS Banco de Imagens Terrestres  
Rodovia Presidente Dutra km 210  
Cachoeira Paulista CEP 12 630  
SAO PAULO  
BRAZIL

International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences  
(ITC)  
Boulevard 1945  
ENSCHDEDE  
PAYS-BAS

Meteosat Data Management Department (ESOC)  
Robert Bosch Strasse 5  
D 6100 DARMSTADT  
RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE ALLEMANDE

National Institute for Telecommunications Research ATTN  
Satellite Remote Sensing Centre  
PO Box 3718  
JOHANNESBURG 2000  
REPUBLIC OF SOUTH AFRICA

National Oceanic and Atmospheric Administration  
Environmental Data - Information Service  
National Climatic Center  
Satellite Data Division  
Room 606, World Weather Building  
WASHINGTON DC 20233  
USA

National Remote Sensing Agency  
n° 4 Sardar Patel Road  
HYDERABAD 500003  
ANDHRA-PRADESH  
INDIA

Remote Sensing Division  
National Research Council  
BANGKOK 9  
THAILAND

Remote Sensing Technology Center (RESTEC)  
7-15-17 Roppongi, Minato-Ku  
TOKYO 106  
JAPAN

World Bank (Banque Mondiale)  
Cartography Section  
Room N 619  
1818 H Street N.W.  
WASHINGTON DC 20433  
USA



*La représentation visuelle de l'information donne au planificateur la possibilité d'une lecture synthétique et simultanée des potentialités et des contraintes qu'il doit prendre en considération dans l'élaboration des choix de développement : la cartographie joue un rôle important dans la rationalisation et la simplification de ces choix.*

*Mais la visualisation de l'information n'est pas essentielle pour les seuls décideurs, elle intervient également au niveau de la production de l'information : Cartographie et Développement a donc été élaboré dans le but de consolider ou d'instaurer un dialogue entre les producteurs d'information que sont les chercheurs et techniciens des différentes disciplines et l'utilisateur qui décide des politiques à mettre en œuvre.*

*Le problème n'est pas seulement celui de la maîtrise de techniques simples (« la main et le papier ») ou sophistiquées (le satellite et l'ordinateur), mais également celui d'une démarche et d'une idée de la cartographie. Cartographie et Développement se propose donc comme un point d'appui permettant au preneur de décision de mieux définir ses besoins et de dominer les processus d'acquisition et de transformation de l'information.*

*Diffusé par*

**LA DOCUMENTATION FRANÇAISE**

29-31 quai Voltaire

75340 Paris Cedex 07

Tél. : (1) 261.50.10

Telex 20.48.26 DOCFRANC PARIS

Prix 140 FF

ISBN-2-11-08-4803-0