

Analyse comparée de la dynamique spatiale des villes de Bamako (Mali) et de Garoua (Cameroun) à partir d'images satellitaires et de données auxiliaires

JACQUES CHAMPAUD ¹, RÉGINE CHAUME ², NADINE DESSAY ³, BALLA DIARRA ⁴ et MICHEL SIMEU KAMDEM ⁵

¹ Laboratoire Population-Environnement, case 10, Université de Provence-ORSTOM, centre Saint-Charles, 3 place Victor Hugo, 13331 Marseille Cedex 3, France; téléphone : +33 (4) 91-08-53-02; télécopieur : +33 (4) 91-08-30-36; CÉ : lpe@newsup.univ-mrs.fr

² ORSTOM, Laboratoire du comportement des sols cultivés, 911 avenue Agropolis, B.P. 5045, 34032 Montpellier Cedex 05, France; téléphone : +33 (4) 67-54-87-07; télécopieur : +33 (4) 67-41-62-94; CÉ : chaume@mpl.orstom.fr

³ Laboratoire ORSTOM, Maison de la Télédétection, 500 rue J. F. Breton, 34093 Montpellier Cedex 5, France; téléphone : +33 (4) 67-54-87-54; télécopieur : +33 (4) 67-54-87-00; CÉ : dessay@teledetection.fr

⁴ Institut supérieur de formation et de recherche appliquée (ISFRA), B.P. 241, Bamako, Mali; téléphone et télécopieur : +223 23-04-66

⁵ Institut national de cartographie (INC) B.P. 157, Yaoundé, Cameroun; téléphone : +237 22-29-21; télécopieur : +237 20-18-54

Résumé

Cette étude a pour but d'analyser la croissance spatiale et les changements d'affectations du sol à partir de cartes, de photographies aériennes et surtout d'images satellitaires. L'étude devrait en effet montrer que les praticiens de l'urbanisme dans les pays en



développement peuvent obtenir des informations précieuses à partir d'images et à des coûts raisonnables. À ces fins ont été utilisés deux couples d'images HRV (XS et P) de SPOT, tous K-J : 40-325 enregistrés au-dessus de la ville de Bamako en novembre 1986 et avril 1996. Ces images ont été recalées l'une sur l'autre puis les histogrammes ont été égalisés pour permettre les combinaisons diachroniques. Le panchromatique de 1996 a servi de référence dans ces traitements. Après ces corrections, une soustraction a été faite entre les deux panchromatiques. Pour Garoua, un plan de l'IGN de 1962 au 1: 10 000, une couverture photographique de 1973 totalisant 30 clichés au 1: 8 000 et un couple d'images HRV, K-J : 86-331 datant de 1995 sont disponibles. Les cartes et les photographies ont été numérisées puis mosaïquées. Une composition colorée P+XS a été créée à partir des images et corrigée au niveau 2A en la mettant dans le même référentiel cartographique que le plan. Les mosaïques des cartes et des photographies ont ensuite été successivement incrustées dans la P+XS. L'interprétation des résultats obtenus montre une extension très rapide de l'espace urbanisé dans les deux villes. Les changements d'affectations à l'intérieur du tissu ancien ne sont pas non plus négligeables.

1. Introduction

Si l'Afrique impressionne aujourd'hui par l'ampleur de l'explosion démographique de ses villes, la conséquence principale que constitue la dilatation démesurée du tissu urbain retient moins souvent l'attention. Pourtant, sa maîtrise, ou du moins la connaissance des caractéristiques essentielles de cette extension, est le préalable à tout projet de développement urbain. Dans cette perspective, les États africains semblent désemparés. Les documents cartographiques et photographiques, qui sont les principaux moyens d'obtention de données localisées, sont rares à cause du coût élevé de leur production. Les couvertures aériennes sont prises à l'occasion d'événements particuliers comme les recensements ou l'élaboration de schémas d'aménagement. Les cartes qui en résultent sont dépassées avant leur parution à cause de l'extension rapide des villes. Dans ces conditions, la nécessité de mesurer la dynamique spatiale conduit à explorer les possibilités offertes par les images satellitaires afin de savoir dans quelle mesure elles peuvent compléter les photographies et les cartes ou s'y substituer. En effet, les images présentent des avantages de coût et de rapidité d'acquisition qui les rendent pratiques pour les pays en développement. L'action de recherche partagée de l'AUPELF-UREF nous offre l'opportunité d'utiliser simultanément différents supports d'information spatiale (cartes, photographies aériennes, images) pour l'analyse comparée de deux villes africaines : Bamako et Garoua (fig. 1).

Bamako, la capitale du Mali, doit abriter environ un million d'habitants en 1997. Elle en avait 658 000 en 1987, lors du dernier recensement avec un accroissement moyen annuel de 4,4 % lors de la décennie précédente. Comme beaucoup de capitales africaines, elle concentre l'essentiel des infrastructures socio-économiques et attire de ce fait un nombre important de migrants, qui s'étalent sur des superficies considérables (26 700 ha en 1996). Pourtant, bien que capitale, la ville n'a pas connu d'investissements publics considérables et, sur le plan architectural, a longtemps vécu sur son passé colonial. Le pays était trop pauvre pour pouvoir consacrer beaucoup d'argent aux villes. Mais après la « révolution » de mars 1991 qui a marqué l'avènement de la démocratie la ville prend un nouvel essor : les investissements reprennent, aidés par la coopération internationale ou effectués directement par des hommes d'affaires maliens, notamment ceux de l'étranger.

Analyse comparée de la dynamique spatiale des villes de Bamako (Mali) et de Garoua (Cameroun)

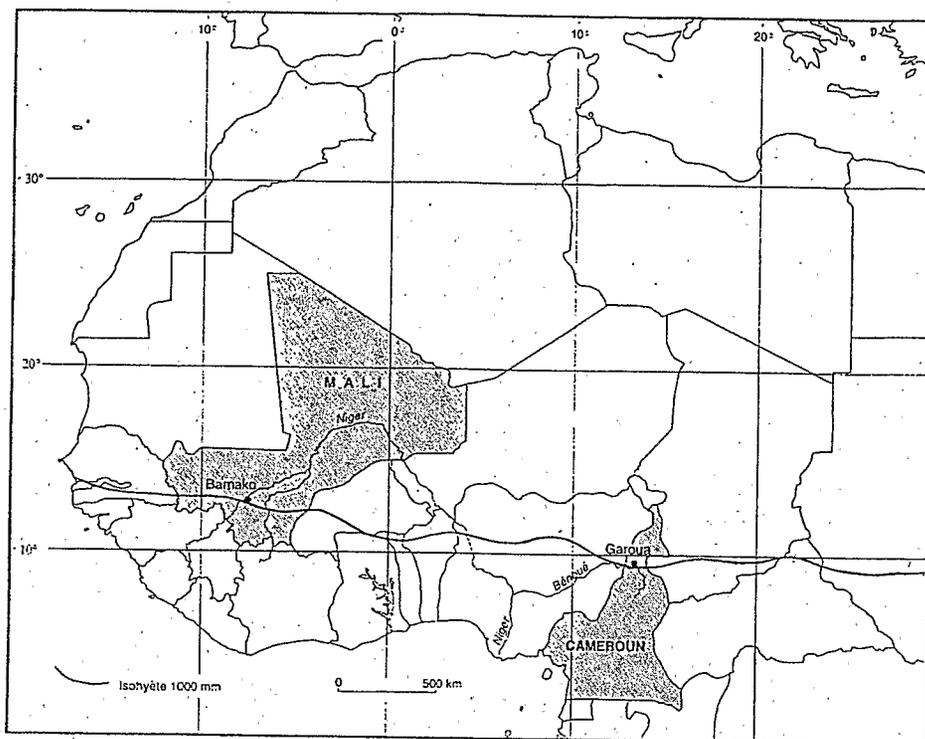


Figure 1. Carte de localisation de Bamako (Mali) et de Garoua (Cameroun)

Garoua (250 000 habitants environ) fait partie de ces villes moyennes du Cameroun qui grandissent plus vite que les deux métropoles (Yaoundé et Douala). Chef-lieu de province, elle était aussi la « ville du président » à l'époque d'Ahidjo (1960-1982) et a bénéficié plus que d'autres localités de taille comparable de la sollicitude des pouvoirs publics, à l'époque où ceux-ci avaient de l'argent. Son poids politique est moindre maintenant puisqu'elle a perdu, après le départ d'Ahidjo, les deux-tiers de la province qu'elle commandait, mais elle demeure encore pour de nombreux domaines (finances, industrie, transports aériens), la métropole du Cameroun septentrional.

Ce qui rapproche ces villes tient surtout à leur situation géographique : deux villes éloignées de la mer, mais au bord d'un fleuve (Niger pour l'une et son affluent la Bénoué pour l'autre). Distantes de près de 2 400 km, elles sont situées à des latitudes proches (12° 39' N pour Bamako, 9° 18' N pour Garoua) et dotées d'une pluviométrie comparable (près de 1 000 mm/an, répartis sur un peu plus de 4 mois, de juin à octobre) et de paysages végétaux semblables (une savane arborée). Les densités rurales régionales sont faibles et les modes traditionnels de construction voisins (prédominance de maisons en terre, à terrasse, avec cependant à Garoua, bon nombre de « saré » peul, cases circulaires à toit de chaume).

De ces différences ou de ces similitudes que révèle l'analyse de la dynamique spatiale ?

2. Méthodologie

2.1. Documents généralement disponibles dans les pays en développement

Mettre en place une panoplie d'outils d'analyse spatiale cohérents et compatibles n'est pas simple dans le contexte africain où les services chargés du cadastre ou de la cartographie fonctionnent souvent mal et manquent de moyens. Les couvertures photographiques aériennes sont peu fréquentes et leur exploitation pour dresser de nouvelles cartes ou mettre à jour les anciennes suit, souvent, avec plusieurs années de décalage, ce qui est particulièrement gênant pour les villes. Le patrimoine en cartes, plans, photographies aériennes apparaît donc pour la plupart des pays à la fois trop léger et souvent obsolète.

Lorsqu'ils existent, ces documents sont intéressants bien sûr, mais ils sont trop disparates et éloignés dans le temps pour permettre un suivi continu de l'occupation spatiale. Par ailleurs ils ne sont pas à une échelle assez grande pour mesurer précisément l'occupation du sol : le cadastre est quasiment inexistant dans la plupart des villes africaines, exception faite, parfois des quartiers centraux où une majorité de terrains a fait l'objet d'un titre foncier. Cependant, la situation change depuis quelque temps et, pour des raisons essentiellement fiscales, on établit dans certains pays un cadastre simplifié construit à partir des photographies aériennes. L'exploitation de ces photographies, et leur numérisation permettent de disposer d'une documentation à grande échelle, inégalée jusqu'à présent, qui peut servir de base à une cartographie thématique et conduire à des systèmes d'information géographique. L'adressage (numérotation des rues et des parcelles) permet de son côté une identification des résidences et des activités économiques. On se trouve ainsi au début d'une phase qui doit permettre une localisation bien plus précise des différentes données de la ville.

D'autres documents peuvent également être utilisés. Parmi les plus intéressants figurent les SDAU (schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme) qui donnent un état des modes d'occupation des sols à un moment donné et définissent le schéma projeté pour l'extension de la ville à 5, 10 ou 15 ans. Le plus souvent, le projet n'est pas respecté (par manque de moyens certes, mais aussi parce que les planificateurs ont sous-estimé le rythme de croissance), mais ces documents sont fort révélateurs dans la mesure où ils traduisent, à un instant donné la projection spatiale des politiques urbaines. Parmi les autres sources d'information figurent aussi les études d'aménagement des quartiers ou celles qui ont été réalisées par les gestionnaires de réseaux (eau, électricité, téléphone) ou les schémas établis par les Travaux publics à l'occasion de réseaux d'écoulement pluvial ou de travaux de voirie. Mais souvent ces documents sont d'échelles diverses, établis à des dates différentes et ne sont pas toujours raccordables entre eux.

2.2. Traitements

Les données disponibles et les documents n'étant pas de même nature pour les deux villes, la démarche méthodologique a été également différente.

2.2.1. Ville de Garoua

Pour Garoua, nous avons utilisé à la fois une image HRV de SPOT de 1995, des photographies aériennes de 1966 (un cliché) et de 1973 (30 clichés au 1: 8 000) ainsi qu'une carte de l'IGN au 1: 5 000 de 1962 (9 feuilles). Les données ont, dans l'ensemble,

Analyse comparée de la dynamique spatiale des villes de Bamako (Mali) et de Garoua (Cameroun)

été géoréférencées par rapport à la carte de l'IGN. Par ailleurs, les photographies aériennes et la carte ont été mosaïquées. Les contours de la carte IGN et ceux de la mosaïque de photos ont été extraits et incrustés dans la composition colorée pour faciliter l'interprétation visuelle de la dynamique spatiale.

2.2.2. Ville de Bamako

Pour Bamako, nous avons travaillé principalement sur deux images HRV de SPOT prises à 10 ans d'intervalle (novembre 1986 et avril 1996). Les images ont été recalées l'une sur l'autre, puis les histogrammes ont été égalisés pour permettre les combinaisons diachroniques. Le canal panchromatique de 1996 a servi de référence pour ces traitements. Un canal-différence entre les images de 1986 et de 1996 a été calculé, et, après contrôle de terrain, un canal binaire autour de la valeur 50 a permis de créer un masque des changements (valeurs > 50), coloriés en rouge. L'extraction de l'image de 1986 sous le masque des changements permet de voir sur l'ensemble de l'image la topologie et les affectations des changements, contrôlables sur le terrain. Ces traitements ont été effectués au laboratoire de cartographie appliquée de l'ORSTOM à Bondy.

3. Résultats

3.1. Ville de Garoua

Le recoupement des informations disponibles sur les différents documents permet de reconstituer, à partir de 1960, trois étapes correspondant chacune à des modes de croissance particuliers. Ainsi, de 1960 à 1966, la ville se démarque lentement, mais distinctement, de la période coloniale. De 1966 à 1973, elle s'étoffe avant de connaître dans les années qui suivent un véritable éclatement.

L'analyse comparée de la carte de l'IGN de 1962 et de la photographie aérienne de 1966 montre des changements assez modestes dans le paysage urbain de Garoua durant les premières années de l'indépendance. Le centre administratif, au nord du plan de 1962, s'enrichit de quelques bâtiments et d'un hippodrome. Avec la construction au sud-ouest et à l'ouest des usines d'égrenage du coton (CFDT) et de la Cotonnière industrielle du Cameroun (CICAM), puis d'un camp de fonctionnaires au sud de l'hôpital, la ville structurée s'étire, bien que de manière discontinue, vers l'ouest. Les quartiers traditionnels, quant à eux, étalés entre le port et le centre administratif, semblent plutôt se tasser. À l'exception de Roundé Adja qui s'est modérément étendu vers le nord-est, aucune extension importante n'est perceptible.

Il en est de même entre 1966 et 1973, où l'on note un mouvement limité dans l'espace, mais une action de grande envergure : le remplissage de vides résiduels dans le périmètre aggloméré de 1966. Le phénomène est particulièrement visible dans la moitié nord de la ville où bâtiments de services et résidences huppées de hauts fonctionnaires ont surgi. Il n'épargne pas les quartiers populaires centraux envahis par une vague impressionnante de migrants qui contribuent ainsi à densifier le tissu urbain (fig. 26-2, voir cahier couleur).

À partir de 1973 au contraire, la périphérie est submergée par l'urbanisation. L'impression qui se dégage de la comparaison entre la photographie aérienne de 1973 et l'image de 1995 (fig. 26-3, voir cahier couleur) est celle de l'éclatement du tissu urbain préexistant. Sous l'effet de la saturation des quartiers centraux consécutive à une forte immigration, la périphérie est littéralement prise d'assaut, sollicitée à la fois pour les infrastructures

routières de contournement, l'habitat populaire et les résidences de prestige. Vers le nord, l'occupation du lotissement résidentiel évolue rapidement dans un style architectural imposant, fait d'un quadrillage régulier et de villas. De même, apparaissent quatre îlots d'habitat non structuré, qui n'existaient pas sur la photo de 1973. Vers l'est, le lotissement résidentiel de Poumpouméré impressionne par sa taille et ses constructions calquées sur le modèle de celles du Plateau. Sur la photo de 1973, l'occupation de la partie méridionale de ce lotissement était à peine achevée. L'habitat non planifié se développe et se consolide dans les quartiers Ouro Hourso, Ouro Kanadi et dans le secteur de Roumdé Adja. On le reconnaît sur l'image à un plus grand étalement de la brillance qui n'est interrompue par aucun trait matérialisant des voies de circulation. À l'ouest, une série de grands bâtiments de style entrepôt rompt l'isolement dans lequel se trouvait l'usine de la CICAM en 1973. Au delà de ces bâtiments qui s'éparpillent de part et d'autre d'une rocade, l'image révèle un immense quartier. Malgré sa forte réflectance, on perçoit tout de même une trame orthogonale de rues, signe qu'il s'agit d'un quartier qui a été planifié avant son occupation.

De nombreux secteurs de la ville ont également été restructurés entre 1973 et 1995. Ceux qui apparaissent le plus clairement sur l'image (fig. 26-3, voir cahier couleur) sont :

- l'aéroport dont l'emprise sur l'image est beaucoup plus importante que sur la photo de 1973, car il a été transformé en aéroport international;
- une bonne partie de l'habitat pauvre des quartiers Roumdé Adja et Yelwa a fait place respectivement à la construction d'un stade omnisports et d'un ensemble d'habitat structuré;

- à Ouro Hourso, la densité du bâti apparaît plus relâchée dans le secteur oriental de ce grand quartier qu'elle ne l'était en 1973; en fait, de nombreuses cases ont été rasées pour libérer les pourtours des forages de la société nationale des eaux.

Au total, avec une superficie qui est passée de 338 ha en 1962 à près de 2 500 ha en 1983, la ville de Garoua a beaucoup évolué sur le plan spatial. Malgré cette croissance, force est de constater que les transformations n'ont pas été spectaculaires, principalement dans les quartiers centraux de la ville, et il est encore possible à quelqu'un qui revient à Garoua après une vingtaine d'années d'absence de se retrouver facilement dans les quartiers foyers centraux, épargnés par les travaux d'urbanisme.

3.2. Ville de Bamako

On observe effectivement sur le canal masqué (fig. 26-4, voir cahier couleur) non seulement les réaffectations à l'intérieur du tissu urbain existant (marché de N'golonina par exemple), mais aussi les axes d'extension. Sur la rive gauche du fleuve, les extensions ont essentiellement concerné le prolongement de Banconi-Sikoroni. Ces extensions se traduisent par une montée sur les flancs des collines. En effet les possibilités d'extension sur la rive gauche du fleuve sont presque épuisées à cause de la proximité du rebord du plateau mandingue. Du coup se pose le problème d'insertion de la ville à son site mais aussi de la nécessité de protéger celui-ci. Les extensions actuelles de cette partie de la ville se font en direction de l'est aux abords de la route de Koulikoro. C'est sur la rive droite que l'on remarque les plus importantes extensions. Elles ont principalement concerné les quartiers spontanés de Sabalibougou et de Niamakoro. La zone de Kalabancoro s'est aussi fortement étendue comme l'atteste l'importance de la couleur rouge à cet endroit. Ces extensions ont été faites au détriment des espaces nus de 1986, ce qui est nettement observable sur le canal masqué.

Toutes les taches rouges sur l'image ne représentent pas pourtant des conséquences d'opération d'urbanisation comme par exemple celles à l'intérieur du fleuve ou sur le

plateau de Koulouba. C'est le problème des limites des traitements basés sur les radiométries qui est encore posé. Puisque la couleur rouge ne représente ici qu'un changement de brillance, celui-ci peut n'être qu'un sol dénudé portant antérieurement de la végétation. Cet aspect est particulièrement important sur des images prises à des saisons différentes. En effet, la comparaison entre les deux images suppose que les deux canaux aient à peu près le même histogramme de valeurs radiométriques. Cette condition n'est réalisée que si les images ont été prises dans les mêmes conditions atmosphériques. La comparaison est donc difficile lorsque les images se rapportent à des saisons différentes (et cela même si leurs histogrammes ont été préalablement égalisés); ce qui est le cas pour Bamako, avec des images de novembre (juste à la fin de la saison des pluies) et avril (en pleine saison sèche). Cette différence se traduit dans l'humidité de l'air, l'épaisseur des aérosols, l'état hydrique des taxons et l'état phénologique de la végétation. Elle explique les différences importantes, après étalement de la dynamique, entre les bornes minimum et maximum du canal panchromatique de 1986 (43 et 88) et celles de 1996 (84 et 246).

Une étude similaire avait été réalisée il y a plusieurs années sur la ville de Nairobi (CHAÛME *et al.*, 1993; CHÉREL, 1993) pour laquelle on disposait d'images panchromatiques prises à quatre ans d'intervalle. L'image obtenue par soustraction des luminances ne traduit pas rigoureusement les progrès de l'urbanisation entre ces deux dates, mais du moins les lieux où quelque chose a changé. La proximité des saisons de prises de vues (un peu plus d'un mois) a rendu possible la comparaison entre les deux images. En revanche cela n'a pas été possible, dans le cadre de la même étude, pour la ville de Ouagadougou dont les conditions climatiques et l'habitat sont voisines de celles de Bamako (images prises pourtant en novembre, 1987 et 1989).

4. Conclusion

L'utilité des cartes, photographies aériennes, images satellitaires dans l'étude diachronique des villes se traduit de plusieurs manières :

- ces documents permettent de mesurer l'évolution de la tache urbaine. Ils permettent en outre de distinguer la ville « réelle » et la ville « légale » limitée par son périmètre administratif;

- les changements d'affectation du sol sont également facilement perceptibles, ce qui suppose de mettre au point une nomenclature précise des modes d'occupation du sol et de mesurer les évolutions, en particulier les créations ou modifications des grandes infrastructures, des zones d'activité économique, ainsi que l'ouverture de nouveaux chantiers ou la densification de l'habitat;

- ils permettent enfin de saisir les transformations du couvert végétal (déforestation, création ou abandon de zones cultivées ou d'espaces verts).

Mais les difficultés demeurent nombreuses lorsque l'on veut utiliser des documents de sources diverses :

- les échelles différentes et les dates parfois éloignées des documents disponibles compliquent souvent l'analyse comparative;

- de plus, pour les images satellitaires, le rendu des images est perturbé en fonction des saisons, à cause de l'aspect du couvert végétal; de même la poussière, en saison sèche, particulièrement pour les villes où les maisons sont majoritairement en terre et les rues non revêtues; une difficulté supplémentaire s'ajoute lorsque de nouveaux quartiers « spontanés » sont établis sans schéma de voirie.

On doit donc relativiser l'intérêt des images satellitaires : elles ne sont pas assez précises pour des opérations d'aménagement, ou l'établissement de cadastres simplifiés, pour lesquels la photographie aérienne à grande échelle demeure indispensable. De même, si l'on veut remonter dans le temps les images satellitaires sont à remplacer par d'autres documents. Enfin, on l'a vu, les traitements numériques par soustraction d'images demeurent une opération délicate, que l'évolution des logiciels devrait permettre de simplifier. Cependant, une nouvelle génération de capteurs existe déjà, non encore commercialisée, dont la précision géométrique inférieure au mètre permettra avec une méthodologie semblable d'aller plus loin dans les études urbaines utilisant la télédétection. On peut donc attendre de nouveaux progrès, particulièrement utiles pour des pays qui ne disposent pas d'une large gamme d'outils pour apprécier la croissance urbaine.

5. Remerciements

Nous remercions M. Bernard Lortic de l'aide qu'il a apportée à ces traitements et à l'édition des cartes.

6. Références

- CHAUME, R., CHAMPAUD, J., CHEREL, J.P., BARRET, E., ATKINSON, A. et MUSCAT, G. 1993. Croissance urbaine, environnement et imagerie satellite. Orstom, Paris, 301 p.
- CHÉREL, J.P. 1993. Maîtriser l'aménagement urbain en Afrique subsaharienne : intérêt des images satellites SPOT. Thèse de doctorat. Université Montpellier III, 354 p.

LA RÉALITÉ DE TERRAIN EN TÉLÉDÉTECTION : PRATIQUES ET MÉTHODES

Septièmes journées scientifiques
du « Réseau Télédétection » de l'AUPELF-UREF,
Sainte-Foy, 13-17 octobre 1997

COMITÉ SCIENTIFIQUE ET DE LECTURE :

- Jean-Marie Dubois (coresponsable de l'édition)
- Monique Bernier (coresponsable de l'édition)
- Jean-Pierre Fortin (coresponsable de l'édition)
- François Boivin (coresponsable de l'édition)
- Abdelkader Abdellaoui
- Régis Caloz
- François Cavayas
- Robert Desjardins
- Pierre Larouche
- Gilles Lemieux
- Keith Thomson
- Diadié Traoré
- Fernand Verger

DOCUMENTATION
MAISON DE LA TELEDETECTION
500, rue J.F. Breton
34093 MONTPELLIER CEDEX 5

Publié avec l'appui du Programme de soutien à l'information scientifique et technique
du ministère de l'Industrie, du Commerce, de la Science et de la Technologie du Québec

1998

AUPELF • UREF
B.P. 400, succ. Côte-des-Neiges
Montréal (Québec) Canada
H3S 2S7

Données de catalogage avant publication (Canada)

UREF. Réseau de télédétection. Journées scientifiques (7^{es}: 1997 :
Sainte-Foy, Québec)

La réalité de terrain en télédétection : pratiques et méthodes
(Universités francophones. Actualité scientifique)
Comprend des réf. bibliogr.

ISBN 2-920021-84-2

1. Télédétection – Congrès. 2. Images-satellite – Congrès. 3.
Systèmes d'information géographique – Congrès. 4. Satellites artificiels
en télédétection – Congrès. 5. Satellites de télédétection des ressources
terrestres – Congrès. 6. Sciences de la terre – Télédétection – Congrès. I.
Dubois, J. M. M. (Jean Marie Maurice), 1944- : II. Titre. III. Collection.

G70.39.U73 1997

621.3678

C98-941340-3

ISBN 2-920021-84-2
Tous droits de reproduction, de traduction
et d'adaptation réservés © 1998
AUPELF-UREF

Dépôt légal – 4^e trimestre 1998
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
Imprimé au Canada