

DUREAU F.\* , BARBARY O.\* , LORTIC B.\*\* , MICHEL A.\*\*

Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM)

\* Mission ORSTOM à Quito (EQUATEUR), \*\* ORSTOM Bondy (FRANCE)

**UTILISER LA TELEDETECTION SPATIALE POUR PRODUIRE RAPIDEMENT DES DONNEES DEMOGRAPHIQUES EN VILLE. L'exemple de Quito (EQUATEUR).**

**USING REMOTE SENSING TO PRODUCE RAPIDLY DEMOGRAFIC DATA EN THE CITIES. The example of Quito (ECUADOR).**

**UTILIZAR LA TELEDETECCION ESPACIAL PARA PRODUCIR RAPIDAMENTE DATOS DEMOGRAFICOS EN LAS CIUDADES. El ejemplo de Quito (ECUADOR).**

Il est nécessaire de développer de nouvelles méthodes de collecte démographique adaptées aux rythmes et modalités de croissance des villes des pays en développement. Les satellites THEMATIC MAPPER et SPOT, assurant une observation continue et relativement précise de l'occupation du sol, constituent une source de données très intéressante : on peut utiliser l'information exhaustive sur la morphologie urbaine pour recueillir rapidement, par sondage, des données relatives aux populations. Depuis 1985, une équipe de l'ORSTOM travaille à la mise au point d'un système d'observation des populations urbaines intégrant l'information apportée par les satellites à haute résolution. Les travaux préliminaires menés sur Marseille ont permis de développer et tester la validité de méthodes d'interprétation d'image TM en ville, de sondages spatiaux, et d'intégration de données de télédétection dans une base de données géographiques. La première application de notre méthodologie de collecte a eu lieu au cours du dernier trimestre 1987 à Quito (EQUATEUR), où nous avons réalisé une enquête démographique sur un échantillon d'ilots tiré de l'image SPOT.

It is necessary to develop new demographic collection methods which are adapted to the rhythms and the modes of the cities' growth of the Third World. THEMATIC MAPPER and SPOT satellites which provide a continuous and precise observation concerning the land use, represent a very interesting data source: the exhaustive information about urban morphology can be used to collect rapidly, by sample, data connected with the population. Since 1985, a research team of the ORSTOM had been working for the adjustment of an observation system of the urban populations which integrate the information brought out by the high resolution satellites. The preliminary works which were led about Marseille have permitted to develop and test the validity of TM image interpretation methods in the city, area sampling methods and remote sensing data integration in a geographic data base. The first application of our collection methodology took place in the course of the last term of 1987 in Quito (ECUADOR), where we have realised a demographic survey on a blocks sample which have been extracted from the SPOT image.

Es necesario desarrollar nuevos métodos de recolección de datos demográficos adaptados a los ritmos y modalidades de crecimiento de las ciudades de los países en desarrollo. Los satélites THEMATIC MAPPER y SPOT, que aseguran una observación continua y relativamente precisa de la ocupación del suelo, constituyen una fuente de datos muy interesante : se puede utilizar la información exhaustiva sobre la morfología urbana para recolectar rápidamente, por sondeo, datos relativos a las poblaciones urbanas. Desde 1985, un equipo de ORSTOM trabaja en poner a punto un sistema de observación de las poblaciones urbanas que integra la información que proviene de los satélites de alta resolución. Los trabajos preliminares realizados sobre Marseille han permitido desarrollar y someter a prueba la validez de los métodos de interpretación de las imágenes TM en las ciudades, de los muestreos de áreas, y de integración de datos de teledetección en una base de datos geográficos. La primera aplicación de nuestra metodología de recolección se efectuó en el transcurso del último trimestre de 1987 en Quito (EQUATEUR), donde hemos realizado una encuesta demográfica sobre un muestreo de manzanas sacado de la imagen SPOT.

Les caractéristiques de l'urbanisation dans les pays en développement, les modes particuliers de résidence des habitants et la rareté des éléments de connaissance classiques (cartes, plans cadastraux, fichiers administratifs) rendent les populations des villes de ces pays particulièrement difficiles à observer. Pourtant, les rythmes de croissance démographique très élevés et les modifications rapides du tissu urbain nécessitent des observations répétées. Les méthodes classiques de collecte de données démographiques se révèlent difficiles à mettre en oeuvre. Le coût de la collecte et les durées d'exploitation limitent la périodicité des recensements à un rythme d'environ 10 ans, insuffisant pour un suivi des populations citadines ; quant aux enquêtes par sondage, l'absence de base de sondage complète et à jour hypothèque généralement leur réalisation et leur fiabilité.

Face au manque de données démographiques récentes auquel sont confrontées les autorités de ces villes, il paraît nécessaire de développer de nouvelles méthodes adaptées à leur spécificité démographique. A cet effet, la télédétection spatiale, assurant une observation continue et relativement précise (THEMATIC MAPPER et SPOT) de l'occupation du sol, constitue une source de données particulièrement intéressante : comme l'ont montré les travaux réalisés sur photographies aériennes depuis les années cinquante, on peut utiliser avec profit l'information exhaustive sur la morphologie urbaine pour recueillir rapidement, par sondage, des données relatives aux populations urbaines.

L'objectif central du programme de recherche que nous menons à l'Orstom depuis 1985 est donc de mettre au point un système d'observation permanent des populations urbaines, en intégrant l'information apportée par les satellites à haute résolution sur la morphologie urbaine. A l'issue de deux années de développement méthodologique mené sur les villes de Marseille et Quito, nous avons pu réaliser la première application en vraie grandeur de notre méthode de collecte : au cours du dernier trimestre 1987, nous avons effectué une enquête démographique par sondage, sur un échantillon d'ilots tiré de l'image satellite SPOT. Dans la présente communication, nous exposons le plan de sondage adopté, les différentes étapes nécessaires à sa mise en oeuvre et quelques éléments d'évaluation de la méthode.

## **1. LA METHODE DE SONDAGE PRATIQUEE A QUITO : FONDEMENTS ET DEFINITION**

La définition du plan de sondage de l'enquête Démographie-migrations réalisée en décembre 1987 à Quito repose sur deux types de travaux réalisés depuis 1985 :

- l'expérience menée sur la ville de Marseille : cette ville disposant dès 1985 les informations de référence nécessaires à une première phase de développement méthodologique (image satellite Thematic Mapper, photographies aériennes à grande échelle, et recensement de la population exploitable au niveau de l'ilot), nous avons pu, non seulement développer, mais encore tester la validité de méthodes d'interprétation d'image satellite à haute résolution et de sondages spatiaux ;

- les recherches effectuées sur le site de Quito : l'exploitation de deux enquêtes préliminaires a permis de préciser et compléter les résultats méthodologiques obtenus sur la ville de Marseille. L'enquête Morphologie urbaine (octobre-décembre 1986) a consisté à relever de manière précise l'occupation du sol de 199 ilots de Quito, afin d'initialiser et tester la fiabilité des traitements des images satellite ; l'exploitation des données démographiques recueillies sur un sous-échantillon de 55 ilots choisis parmi les 199 enquêtés sur le plan morphologique (enquête Bâti/population, avril 1987) est à l'origine de résultats complémentaires à ceux obtenus sur la ville de Marseille, en matière de sondages.

Ces deux phases de la recherche ont donné lieu à un grand nombre de résultats méthodologiques ; rappelons-en trois d'entre eux, fondamentaux, qui soulignent l'intérêt de pratiquer un sondage par grille sur une image satellite classée selon la densité du bâti :

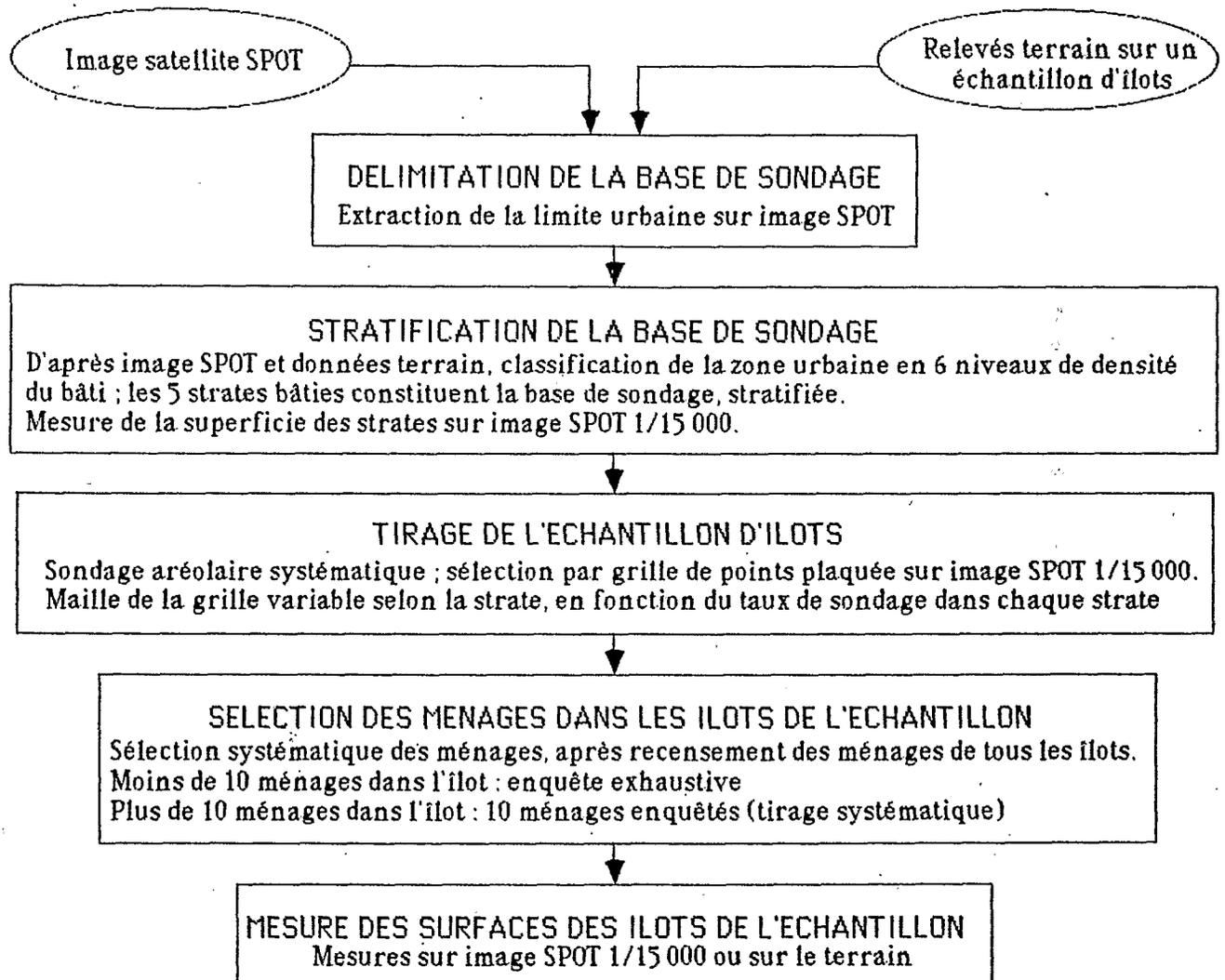
- 1) Parmi les stratifications actuellement réalisables sur image satellite, la plus efficace est une stratification en six niveaux de densité du bâti dont le premier niveau permet d'isoler les espaces non construits, exclus de la base. Pour l'estimation des effectifs, le gain que permet la stratification en cinq niveaux de densité du bâti se situe autour de 50 % du coefficient de variation.

- 2) Le caractère systématique du sondage aréolaire (réalisé à l'aide d'une grille), en assurant une bonne répartition géographique de l'échantillon, améliore la précision des estimations. On évalue ce gain à 20 ou 30 % de la variance du sondage strictement aléatoire au même taux.

Si l'on considère l'effet cumulé du tirage systématique et de la stratification, l'allocation aux strates étant optimale, le gain total se situe, suivant les caractères démographiques estimés, entre 45 et 95 % de la variance d'un tirage aléatoire non stratifié.

3) Les tests effectués mettent en évidence l'intérêt de pratiquer un sondage à deux degrés avec comme unités primaires les pâtés de maisons et comme unités secondaires les ménages ; le taux au premier degré doit être le plus fort possible, dans la limite du budget disponible et sous la contrainte d'avoir un nombre suffisant de ménages dans chaque pâté de maisons.

Les différentes conclusions issues des expériences de Marseille et Quito trouvent leur première application pratique dans la définition de la méthode de sondage retenue pour l'enquête Démographie-migrations de Quito ; la figure ci-dessous résume le plan de sondage adopté, en présentant les différentes étapes correspondant à sa mise en oeuvre.



## 2. LA MISE EN ŒUVRE DU PLAN DE SONDAGE

Nous présentons ici, dans l'ordre chronologique de leur réalisation, les différentes étapes de la mise en œuvre pratique du plan de sondage à Quito, qui devraient être répétées pour toute autre application de la méthode : définition et stratification de la base de sondage, tirage de l'échantillon de pâtés de maisons, recensement des ménages dans les pâtés de maisons et sélection des ménages à enquêter, mesure des surfaces des pâtés de maisons.

## 1. Définition et stratification de la base de sondage sur l'image SPOT

### La limite urbaine

Plusieurs documents issus de l'image SPOT ont servi pour parvenir à la délimitation finale de la zone urbaine : tirages du canal panchromatique au 1/30 000 et 1/50 000, et de l'indice de végétation au 1/50 000, et copies couleur d'écran de l'écart-type local calculé sur le canal panchromatique et du coefficient de densité du bâti en 6 modalités.

Cherchant à définir un concept de "limite urbaine" applicable dans le cas d'une stratification à objectif démographique, nous avons décidé que la limite serait tracée là où se terminait une zone continue d'espace bâti, en suivant si possible une limite (naturelle ou artificielle) visible sur l'ensemble des documents et sur le terrain. Les différentes limites obtenues indépendamment sur les différents documents photographiques par deux interpréteurs ont été confrontées, puis synthétisées. La discrimination de la limite externe s'est faite pour l'essentiel sur l'image panchromatique brute, mais aussi à partir de l'image de l'indice de végétation, de l'écart-type local et d'un coefficient de densité du bâti. Enfin, nous avons vérifié sur le terrain la limite ainsi obtenue.

Notons qu'à l'heure actuelle, nos derniers travaux en télédétection urbaine ont permis d'améliorer considérablement cette étape de détermination de la limite urbaine : à partir d'une seule image, correspondant à une segmentation de l'image SPOT selon la densité du bâti en 2 classes et l'écart-type local, également en 2 classes, un interpréteur peut très rapidement tracer la limite urbaine.

### Stratification de la base selon la densité du bâti

Le zonage à l'intérieur de l'espace urbain a été effectué visuellement à partir d'une classification en 6 niveaux de densité du bâti. Cette classification de type barycentrique en 6 postes a été supervisée en fonction des statistiques descriptives calculées sur un échantillon de 164 îlots, dont l'occupation au sol a été précisément décrite et mesurée lors de relevés sur le terrain. Les canaux (XS1) et néo-canaux (Ecart-type local sur panchromatique, Indice de végétation, et Indice de brillance) utilisés pour opérer cette classification ont été choisis en fonction de leur aptitude à rendre compte de la densité du bâti.

Ce zonage a été effectué indépendamment par deux interpréteurs, puis reporté, après confrontation, sur le tirage panchromatique au 1/30 000, puis sur un agrandissement du même canal au 1/15 000. C'est à cette échelle qu'ont été mesurées chacune des 232 zones composant la base de sondage à l'aide d'un planimètre électronique.

## 2. Tirage de l'échantillon de pâtés de maisons

Le premier travail a consisté à déterminer le nombre total de pâtés de maisons à enquêter et leur répartition dans les strates ; ce calcul nécessite de connaître la surface totale de chaque strate (mesurée sur image satellite), et la surface moyenne des pâtés de maisons de la strate (connue d'après les relevés terrain). Le tirage de l'échantillon de pâtés de maisons s'effectue ensuite indépendamment dans chaque strate à l'aide d'une grille placée sur l'image satellite, la maille de la grille étant calculée pour respecter le taux prévu.

Pour obtenir la surface de la maille de la grille de tirage dans chaque strate, il suffit de diviser la surface totale de la strate mesurée sur l'image par le nombre d'îlots à sélectionner, et l'on déduit la taille de la maille.

Après avoir construit les cinq grilles sur papier calque millimétré, on a procédé au tirage en cinq étapes en commençant par la strate la plus dense. Après s'être assuré d'avoir dans la strate le nombre de points de sondage voulu, l'étape suivante consiste à définir sur l'image, partout où c'est possible (c'est-à-dire partout où le réseau de voirie apparaît clairement), l'îlot à enquêter correspondant à chaque point. Lorsque le point est situé à l'intérieur de l'îlot, c'est l'îlot en question qui est sélectionné. Si le point tombe sur un élément de la voirie séparant plusieurs pâtés de maisons, on applique une règle systématique : nous avons pour notre part retenu les îlots situés immédiatement au nord-ouest des points. Pour faciliter l'identification des îlots par les enquêteurs et leur repérage sur le terrain, les îlots ainsi repérés ont été reportés sur des plans au 1/10 000 ; lorsque l'identification précise de l'îlot était impossible sur l'image ou que l'îlot était situé en dehors de la zone cartographiée, on a effectué, sans problème, le repérage et/ou l'identification des limites de l'îlot directement sur le terrain avec le superviseur chargé de la zone.

### **3. Recensement des ménages dans les pâtés de maisons et sélection des ménages à enquêter**

Le recensement des ménages qui occupent les pâtés de maisons sert à sélectionner l'échantillon de ménages à enquêter et à estimer les totaux, moyennes et quotients au sein des unités primaires, c'est-à-dire les pâtés de maisons.

Ce travail de recensement des ménages dans chaque îlot de l'échantillon a été confié aux superviseurs qui ont réalisé sur le terrain un schéma du pâté de maison permettant son identification sans ambiguïté par l'enquêteur et sur lequel figuraient, outre les indications que le superviseur jugeait utiles pour le travail de l'enquêteur, l'ensemble des bâtiments de l'îlot, ainsi que le nombre de ménages qui occupaient chacun des bâtiments.

Sur le schéma ainsi réalisé, le superviseur indiquait à l'enquêteur la liste des ménages constituant l'échantillon à enquêter. Exception faite des pâtés de maisons comptant jusqu'à dix ménages, pour lesquels l'enquête a été exhaustive, une règle précise de sélection systématique des ménages a été pratiquée par tous les superviseurs.

### **4. Mesure de surface des pâtés de maisons de l'échantillon**

Cette mesure est nécessaire pour pratiquer les estimations des totaux, moyennes et quotients au niveau de la base entière, de chacune des strates ou d'un éventuel autre découpage de la ville.

Pour la mesure des surfaces des pâtés de maisons, deux techniques ont été employées et validées : mesure sur le tirage photographique du canal panchromatique SPOT au 1/15 000, et mesure sur le terrain. 60 % des 426 îlots enquêtés ont pu être repérés sans ambiguïté sur le tirage photographique au 1/15 000 ; nous avons alors mesuré la surface par superposition d'un polyester transparent millimétré.

Pour les îlots non repérables précisément sur image satellite, un enquêteur a été envoyé sur le terrain. À l'aide d'un décimètre, d'un clinomètre et d'une boussole, l'enquêteur a établi avec le maximum de précision possible un croquis mentionnant les angles et les longueurs de chaque segment droit délimitant l'îlot ainsi que leur pente. La surface a ensuite été calculée par programme informatique.

### **3 . L'EVALUATION DES DIFFERENTES ETAPES DU SONDAGE**

Réalisant à Quito la première application en vraie grandeur de cette méthode de sondage, nous avons tenu à utiliser tous les documents disponibles pour valider les différentes étapes du tirage de l'échantillon, et les résultats démographiques finals. Pour ce dernier point, les conclusions réelles ne pourront être connues que d'ici à quelques semaines, par comparaison de nos résultats et d'autres sources de données démographiques ; nous ne connaissons pour l'instant que l'ordre de grandeur des précisions attendues, grâce aux calculs effectués sur les données de l'enquête bâti/population. Néanmoins, dès maintenant, la mesure de la précision des différentes étapes du tirage de l'échantillon permet de conclure positivement sur l'intérêt des techniques adoptées : elles ont permis une mise en oeuvre correcte du plan de sondage.

Afin d'estimer la fiabilité de la limite déterminée sur image SPOT, nous avons utilisé une couverture aérienne photographique noir et blanc de novembre 1987 à l'échelle approximative du 1/40 000. La comparaison de la limite issue de l'image SPOT et de celle issue de la couverture aérienne met en évidence la fiabilité du travail effectué sur les images satellite ; la seule véritable erreur d'interprétation est imputable aux carrières qui présentent sur le panchromatique et dans une moindre mesure sur la composition colorée une apparence d'espace bâti.

L'évaluation de la classification en 6 niveaux de densité du bâti a consisté à établir une matrice de confusion entre les modalités issues de l'enquête terrain et les classes issues de la classification de l'image SPOT. Cette matrice montre que la classification a tendance à surestimer la densité. Etant donné l'objectif de la classification, stratifier l'espace quiténien selon la densité du bâti, ce décalage n'est pas gênant : cette classification respectant bien

un ordre de densité, même si celui-ci est décalé par rapport à une référence, la stratification est efficace.

La précision des mesures d'ilots a été calculée pour deux échantillons de 30 ilots correspondant chacun à une technique de mesure (mesure sur image, et mesure sur le terrain) : nous avons comparé les mesures ainsi obtenues et celles, considérées comme référence, issues de la cartographie au 1/2 000 de l'Institut Géographique Militaire. L'analyse des écarts relatifs entre les surfaces mesurées sur l'image ou sur le terrain et les surfaces de référence montre que c'est la mesure la plus facilement praticable dans les pays en développement (mesure sur le terrain) qui apparaît la plus fiable : les mesures pratiquées sur le terrain, avec un appareillage rudimentaire, sont suffisamment précises.

## **CONCLUSION**

Cette expérience quiténienne nous permet de conclure à l'intérêt de la méthode : dans une ville ne disposant d'aucune base de sondage classique, nous avons pu sélectionner de façon rigoureuse, à partir d'une image satellite SPOT, un échantillon pour une enquête démographique ; toutes les étapes de la sélection de l'échantillon ont été réalisées facilement, dans des délais très courts. Appliquée dans son intégralité s'il n'existe que l'image satellite comme base de sondage utilisable, ou en partie si l'on peut avoir accès à des documents cartographiques à jour, cette technique d'échantillonnage peut apporter dès maintenant des éléments de réponse aux problèmes posés par le suivi démographique des villes des pays en développement.

## **PRINCIPAUX RAPPORTS ET PUBLICATIONS DE L'ÉQUIPE ORSTOM**

*(peuvent être consultés au Département SDU de l'ORSTOM Bondy, au service de documentation du LIA de l'ORSTOM Bondy, ou à la Mission ORSTOM de Quito)*

Equipe ORSTOM, 1987. Intégration des données de télédétection dans un système d'information géographique : suivi de la morphologie et de la démographie d'une ville. Rapport final pour l'ATP CNRS/CNES. Paris, tome 1 (synthèse) : 53 p., tome 2 (annexes) 538p.

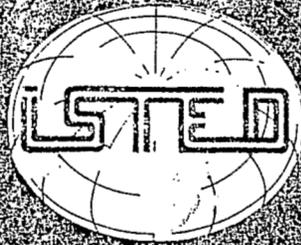
Equipe ORSTOM, 1988. L'utilisation de l'imagerie SPOT pour l'observation démographique en milieu urbain. Convention CNES-ORSTOM. Rapport final. Paris, 217 p.

DUREAU F. et BARBARY O., 1987. Pour une méthode de collecte démographique en ville intégrant la télédétection spatiale. En cours de parution dans la revue Informatique et sciences humaines, EHESS, 42 p.

MICHEL A., DUREAU F., LORTIC B., SOURIS M., 1987. Mise au point des méthodes d'analyse des images satellites à haute résolution et évaluation des informations fournies par ces images. 1 : Etude statistique du descripteur "densité du bâti". Présentation des classifications. 2 : Mise en évidence des réseaux routiers sur une image SPOT panchromatique. Etude de faisabilité sur Quito (Equateur). Paris, Service Technique de l'Urbanisme, Bilan sur la télédétection urbaine en France. 10 p. et photos.

MICHEL A., EBERHARD J.M., LORTIC B., DUREAU F., 1987. El uso de la teledeteccion para la observacion de las poblaciones urbanas. Investigacione en curso en Quito (ECUADOR). Communication au deuxième "Simposio Latinoamericano sobre sensores remotos", Bogota, Colombie, 16-20 Novembre 1987, 34 p.

MICHEL A., EBERHARD J.M., LORTIC B., DUREAU F., 1987. Utilisation de la télédétection pour l'observation de populations urbaines. Une recherche en cours à Quito (EQUATEUR). Communication au colloque SPOT, Paris, 23-27 Novembre 1987, 9 p.



N° C 4 9 074

INSTITUT DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES  
DE L'ÉQUIPEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT  
POUR LE DÉVELOPPEMENT

COLLOQUE  
INTERNATIONAL

INTERNATIONAL  
CONFERENCE

COLOQUIO  
INTERNACIONAL

VILLES EN DÉVELOPPEMENT  
CENTRE DE DOCUMENTATION  
64, RUE DE LA FÉDÉRATION  
75015 PARIS - TEL. 45 67 97 39

GESTION URBAINE ET DÉVELOPPEMENT  
URBAN MANAGEMENT AND DEVELOPMENT  
GESTION URBANA Y DESARROLLO

20 - 22 SEPTEMBRE 1988  
LYON - FRANCE

*pile 4  
39094*

*17.03.94*

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire  
N° : 39094 ex 1  
Cote : B