

QUELQUES REFLEXIONS SUR LA MISE A JOUR D' UNE BASE DE DONNES URBAINES A PARTIR DES IMAGES DU SATELLITE SPOT

Myriam ARMAND Ministère de l' Education Nationale, Bureau des Innovations Pédagogiques
et des Technologies Nouvelles, 107 rue de Grenelle 75007 PARIS.

Philippe Campagne Institut Géographique National,
2 Avenue Pasteur, 94160 SAINT MANDE.

FRANCE, COMMISSION VII

RESUME:

Dans le cadre d' un projet de coopération franco-ivoirien, l' Institut Géographique National a été chargé d' étudier les possibilités de mise à jour d' une base de données urbaines sur la ville de Bouaké, à l' aide d' images satellitaires. La comparaison des données se heurte aux problèmes de compatibilité des sources et des techniques d' extraction et d' extrapolation des informations. En milieu urbain, l' analyse morphologique de l' image se révèle indispensable pour choisir l' unité géographique de collecte de l' information et pour réaliser une stratification de l' espace urbain selon un regroupement d' îlots par type de tissu.

INTRODUCTION:

L' élaboration et la mise en oeuvre de politiques urbaines requièrent une connaissance précise des différents usages du sol urbain. Pour suivre l' occupation de cet espace il faut collecter, gérer et produire une masse d' informations de nature diverse: statistique, graphique et cartographique. Par souci d' efficacité, les instances responsables de l' aménagement optent de plus en plus pour les bases de données relationnelles et géocodées (Colloque: FI3G,1987). La nécessité d' une mise à jour régulière de ces inventaires les conduit à envisager de recourir à des images spatiales ou à des données issues de leur exploitation. Ce support présenterait l' avantage de réduire le coût des opérations périodiques de collecte de l' information, inhérent aux moyens classiques (missions aériennes, exploitation des clichés, enquêtes terrain), sous réserve d' obtenir des informations comparables en précision. Il semble qu' à ce jour la précision altimétrique et planimétrique des images SPOT (M. Denègre, Colloque Spot ,1987) ouvre des perspectives intéressantes.

Dans le cadre d' un projet de coopération franco-ivoirien, dont l' objectif était d' élaborer une méthode simplifiée de recueil de données sur la ville de Bouaké (Côte d' Ivoire), l' Institut géographique National a été chargé d' étudier les modalités d' une mise à jour de la base de données utilisant des images satellitaires. Ces investigations ont permis de tester les potentialités de l' analyse urbaine réalisée à partir d' images.

Nous présentons ici les résultats de cette expérimentation orientée selon deux objectifs:

- comparaison des informations de la base, collectées par photo-interprétation et enquête à celles qui sont extraites des images,
- proposition après étalonnage de l' information, d' un indicateur d' aide à la détection des changements par comparaison d' une image de référence (Landsat TM de janvier 1985) et d' une image ultérieure (Spot de novembre 1986).

L' intérêt de cette étude est de montrer que l' apport des données satellitaires dépend de la maîtrise du traitement de l' image en milieu urbain, de la gestion simultanée d' informations issues de différentes sources (images, cartes, fichiers statistiques) ainsi que du type de ville observé. Cela suppose que l' on définisse les informations à collecter ainsi que l' unité géographique de collecte en tenant compte des besoins des utilisateurs et des particularités des différentes sources d' informations. Ces opérations posent une série de questions concernant la nature de l' information accessible à partir des différentes sources et sa gestion au sein de systèmes mixtes permettant le traitement de l' image et la mise en relation des données de la base. Les systèmes qui offrent ces possibilités sont rares hors du champ expérimental (Michel A. 1987; Briscard 1987 in FI3G, 1987).

1. DE L' INFORMATION ATTENDUE A L' INFORMATION ACCESSIBLE

1.1 LA BASE DE DONNEES ET LES BESOINS DES UTILISATEURS

Dans les pays en développement, les données statistiques et cartographiques urbaines sont en général très indigentes. En janvier 1985, au commencement des recherches qui devaient conduire à l' élaboration d' une méthode de recueil de données urbaines localisées sur Bouaké, les organismes publics de cette ville ne disposaient pas de documents cartographiques à jour (Rapport d' expérimentation, Plan Urbain 1987). La seule carte topographique disponible datait de 1970, tandis que le plan cadastral des îlots et parcelles ne couvrait qu' une partie de la ville.

D' une manière générale, la demande des urbanistes porte sur des informations à caractère statistique et cartographique concernant l' occupation du sol et les caractéristiques socio-économiques des habitants. Les méthodes de collecte les plus courantes procèdent par recensement ou à partir d' enquêtes par sondage.

Dans le cas de Bouaké, les informations recueillies ont permis de constituer une base de données contenant :

- un fichier géographique de localisation des îlots (numéro d' identification, coordonnées du point central, des différents sommets et du contour de l' îlot). Il permet d' obtenir des représentations graphiques de la ville à différentes échelles,
- un fichier morphologique exhaustif des attributs de l' îlot (surface, nombre des parcelles, nombre et type des bâtiments, densité de construction, type d' usage...),
- un fichier des variables morphologiques des parcelles enquêtées (usage, superficie, caractéristiques du bâti, équipement),
- un fichier des variables socio-économiques des ménages (statut d' occupation du logement, identité du propriétaire, nombre de résidents, activité, emploi etc...).

La méthode de collecte utilisée se distingue des méthodes classiques par une obtention plus rapide et plus économique des données. Elle s' inspire d' une démarche élaborée en 1981-1982 pour la ville de Niamey (IAURIF 1983). Le gain de temps provient de la collecte de la majeure partie de l' information par photo-interprétation et de sa gestion dans un environnement informatisé. L' exploitation des clichés aériens a fourni les fichiers géographiques et morphologiques, ainsi que la cartographie de base des îlots. Une typologie des îlots a été obtenue à partir des caractéristiques morphologiques du tissu urbain. L' enquête socio-économique sur le terrain a utilisé une base de sondage d' îlots, stratifiée à partir du fichier morphologique.

Le rapport d' expérimentation signale qu' il serait toutefois long et coûteux de reproduire cette méthode pour actualiser la base de données. En effet, deux ans se sont écoulés entre la réalisation de la mission aérienne (mars 1985) et la production des premiers résultats (janvier 1987). La photo-interprétation a duré quatre mois et l' enquête s' est déroulée de mars à décembre 1986.

Bouaké, dont la croissance était rapide, de l' ordre de 10% par an, dans les années 1970, elle est de 5 % aujourd' hui, exige un suivi régulier et au plus faible coût. Les disponibilités financières de cette ville de 300 000 habitants dont les ressources proviennent essentiellement de la commercialisation des produits agricoles sont limitées. Incompatible avec des coûts élevés et les délais longs, l' actualisation régulière des données peut-elle être envisagée à partir de l' exploitation d' images satellitaires?

A priori, les données recueillies dans la base présentaient un profil favorable pour ce type de mise à jour. La structure géocodée du système permettait d' intégrer les images, sans modifier le mode de stockage des données, offrant ainsi la possibilité de superposer l' image aux différents fichiers cartographiques. L' îlot, unité de collecte et de production de l' information cartographique semblait également compatible avec la résolution au sol des images étudiées, respectivement de 30 et de 20 mètres. Enfin, l' information obtenue à partir de l' analyse morphologique des tissus urbains est représentative d' une réalité géographique dont l' image doit rendre compte. La base de données a prouvé la bonne corrélation de la typologie des îlots, déduite des caractéristiques morphologiques, et des données socio-économiques fournies par l' enquête.

1.2 ANALYSE URBAINE ET CONTRAINTES DE L' IMAGE

1.2.1 LE PHOTO-INTERPRETE ET L' IMAGE

Les images satellitaires proposent autant de représentations d' une ville que de bandes spectrales d' enregistrement, de types de résolution au sol et de modes de restitution. L' oeil doit s' exercer à repérer des formes d' occupation du sol, des types d' organisation de l' espace afin de dégager des critères d' identification. Redécouvrir par des moyens sophistiqués ce que l' on connaît par des moyens simples est plus utile qu' il y paraît. L'opération qui consiste à identifier les composantes de l' image exige un va et vient constant de la connaissance scientifique de l' objet urbain à ses caractéristiques sur l' image (LEO, DIZIER J.L 1986). D' où l' intérêt pour le photo-interprète de multiplier les modes de visualisation d' une image (visualisation mono-canal, composition colorée, amélioration de contraste, filtres, lissages, composition colorée...etc) pour élaborer une grille d' identification des objets d' étude.

1.2.2 L' ANALYSE MORPHOLOGIQUE DEDUCTIVE

La composition colorée de trois canaux, mode de restitution le plus courant, offre une représentation codée d' une réalité géographique qui par sa richesse et sa structure s' apparente plus à un paysage qu' à une carte. Les informations que l' on peut extraire directement des données satellitaires de résolution moyenne restituées sous forme d' une image concernent un espace géographique. L' image de Bouaké traduit les caractères morphologiques et topologiques des objets urbains (plan et trame de la voirie, formes d'urbanisation, espaces bâtis et non bâtis, distribution des tissus dans la ville...). De cette organisation naît le paysage urbain représenté sur l' image.

L' étude des structures et des paysages urbains devient un intermédiaire obligé pour accéder à l' information. Des images des objets on déduira leur nature, leur fonction et par corrélation, on pourra également avoir une idée des caractéristiques socio-économiques des habitants.

L' approche de la ville en termes d' espace organisé, structuré, prends toute sa valeur. Elle supplante l' approche technicienne qui oppose des catégories simples d' occupation du sol: espace construit, espace vert et voirie. Le photo-interprète recherche des objets repérables par leur structure unique -le terme structure est pris ici au sens d' organisation interne des unités élémentaires qui composent ces objets-, il stratifie l' image en ensembles et sous-ensembles. La finesse de son analyse dépend de ses compétences et de la précision spectrale et spatiale du document.

1.2.3 RESOLUTION DE L' IMAGE ET OBJETS URBAINS

La résolution spatiale fixe l' échelle d' analyse. Le choix de l' unité de collecte de l' information sur l' image en dépend. Selon la résolution choisie, l' unité de collecte peut être: l' ensemble de la ville, les quartiers, les tissus, les îlots, les parcelles ou bien leur contenu. Dans la base de données, la collecte des informations a été opérée à partir de l' îlot et des parcelles. L' image permett-elle d' accéder à ces unités?

Au cours de la recherche d' informations, on est conduit à s' interroger sur les rapports qui existent entre d' une part la résolution au sol des images et d' autre part l' aspect (dimensions, formes, structure) des objets à identifier. R. Welch a montré que les types d' urbanisation du Nouveau Monde caractérisés par des structures desserrées et par la grande taille des parcelles urbaines, sont plus faciles à étudier par télédétection que les villes des civilisations européennes ou asiatiques (R Welch 1982). Dans le cadre d' une étude sur Paris nous avons remarqué que les images du capteur TM de Landsat 4 permettent d' appréhender des types d' urbanisation caractéristiques de l' agglomération (densité et organisation spatiale du bâti) mais non tous les types de tissus (M. Armand, M. Hernandez 1986).

Dans le cas de Bouaké, l' image multispectrale du satellite SPOT rend compte de la structure d' ensemble de la ville: plan, grandes artères et tissus urbains correspondant aux grands types répertoriés dans la base de données. Chacun d' eux diffère des autres par la taille et la forme de l' îlot de base, la densité, la hauteur, la disposition des immeubles à l' intérieur de l' îlot (tableau 1) (schéma 1). Chaque tissu est représenté sur l' image par une zone homogène du point de vue de ses caractéristiques de couleur, de texture et de forme. Ces différents types, décrits dans la base font aussi référence à des profils particuliers de peuplement. Il s'agit de:

-l' habitat évolutif dense, conforme à l' urbanisation traditionnelle des quartiers populaires de la période coloniale. Il se compose de maisons basses, non alignées sur la rue et parfois disposées autour de cour intérieures, construites selon un parcellaire homogène déterminé par une trame orthogonale. Le taux d' occupation des parcelles, le plus élevé de la ville (supérieur à 75%) correspond à la plus forte densité de population (350 habitants par hectares). On y rencontre essentiellement des travailleurs individuels et des salariés aux revenus inférieurs à la moyenne.

-l' habitat évolutif peu dense se distingue essentiellement par une densité plus forte de l' espace vert et un revenu légèrement plus élevé. Le taux d' occupation des parcelles est plus faible.

-l' habitat résidentiel dense respecte les règles d' alignement des façades sur la rue y compris pour les villas. La taille de l' îlot, très variable, est cependant supérieure à celles des catégories précédentes (tableau 1). La faible densité des constructions et de la population résidente vont de pair avec les revenus supérieurs à la moyenne des cadres et des fonctionnaires qui y résident.

- l' habitat résidentiel peu dense correspond à des villas de grand standing élevées sur de vastes parcelles aménagées en jardin d' agrément. C' est le lieu de résidence des fonctionnaires aux revenus élevés et des cadres supérieurs.

-l' habitat collectif sous forme d' immeubles de plusieurs étages est peu présent dans la ville. Sous cette catégorie, on classe également l' habitat de type économique constitué de maisons bases contigües de 1 ou 2 étages disposées en bandes parallèles.

-l' habitat spontané est le domaine des couches défavorisées. La disposition anarchique des constructions, l' équipement sommaire des parcelles et l' occupation illégale du sol le caractérisent. Il s' agit cependant d' une catégorie hétérogène de point de vue des revenus. Typique lorsqu' il s' agit de constructions sommaires groupées, il peut parfois se confondre avec l' habitat résidentiel.

-les emprises industrielles et tertiaires concernent des parcelles géométriques de grandes dimensions ainsi que des îlots mixtes où la fonction industrielle ou tertiaire est associée à l' habitat comme dans le quartier central de N' GATTAKRO.

TABLEAU N° 1 DESCRIPTIF MORPHOLOGIQUE DES TISSUS

CARACTERES	ILOT			PARCELLE/BATIMENT			
	structure	plan	forme	dimens. en m2	type	hauteur nbre	disposition
TISSUS							
Evolutif dense	concessions	ortho.	rect.	300-500	maison	R	contigüe à cours
Résid. dense	villas	ortho.	rect.	600-1600	villas	R+1	séparées jardins
Collectif hab.	en bande	pas d'îlot			imm.	R+N	parallèle
Spontané	groupé	irrégulier			maison	R	groupée
Industriel	large maille	géométrique		2500	grds bats.	R	alignée

Pour l'ensemble de ces tissus, l'ilôt, unité de collecte de l'information dans la base de données, n'est pas toujours repérable sur l'image. Ceci en raison de l'insuffisance de la résolution (tissus d'habitat évolutif), ou de l'absence de lotissement (habitat spontané). Dans certains cas (habitat collectif), l'ilôt constitue une notion cadastrale sans traduction morphologique dans le paysage et donc sur l'image.

D'une manière générale, la limite de résolution (dimension de la tache élémentaire au delà de laquelle il est impossible d'identifier l'objet) varie en fonction des dimensions de l'objet (ici, îlots et bâtiments) et des relations topologiques qui existent entre ses composantes. La capacité à repérer un tissu sur une image semble varier en fonction de la dimension du pixel et du nombre de pixels par parcelle (ou îlot de base du tissu considéré), lesquels semblent liés par une fonction hyperbolique (schéma 2). Cela signifie que l'observation d'un tissu urbain sur une image n'est possible que pour un intervalle de résolution particulier. En deçà de la borne inférieure de l'intervalle, la résolution est insuffisante, au delà elle est trop élevée et on observe les composantes du tissu. Ainsi sur cette image de Bouaké, il apparaît a priori impossible de collecter une information interne à l'ilôt dans le cas des tissus d'habitat évolutif et spontané, parfois même pour le tissu résidentiel dense. Par contre, les contenus des tissus d'habitat résidentiel de standing, et des emprises industrielles ou tertiaires sont observables sur la visualisation en composition colorée.

Pour certains types de tissus, il sera donc préférable de déduire le contenu de l'ilôt de son appartenance à un ensemble: le quartier Koko d'habitat évolutif, le quartier Kennedy d'habitat résidentiel, étant donné le caractère particulièrement homogène des tissus de cette ville. Selon les informations fournies par la base de données, 95% des îlots dont l'usage général est de type évolutif ne contiennent que des bâtiments appartenant à ce type, c'est à dire des maisons sans étage de type cour-concessions et inversement, 99% de ces constructions se trouvent dans les tissus évolutifs. Les proportions sont comparables pour les autres catégories. Les rares îlots mixtes se rencontrent essentiellement dans le tissu industriel et le quartier administratif du centre ville. Plus l'ilôt est de grande taille, plus est élevée la probabilité d'usage mixte.

2. LES ETAPES DE L'EXPLOITATION DE L'IMAGE

2.1 OBJECTIF: ETALONNAGE DE L'INFORMATION

Etudier les possibilités de mise à jour d'une base de données urbaines à partir de l'exploitation de l'image satellitaire suppose que:

-l' on effectue une analyse comparée des informations de la base collectées par photo-interprétation (clichés aériens d'avril 1985) et des données obtenues à partir d'une image de référence (ici, une scène Landsat TM de novembre 1985)

-l' on repère les changements intervenus entre la date de constitution de la base et une date ultérieure, image SPOT de novembre 1986), sachant que la forte croissance de Bouaké s'est considérablement ralentie depuis les années 1980 et qu'au regard de cette évolution, les dates des images Landsat TM et SPOT sont trop rapprochées.

Pour la première opération il convient de déterminer l'information à comparer et l'unité de comparaison, c'est ce que l'on nomme étalonnage. Etant donné la résolution des images utilisées, et la prédominance des tissus urbains à maille étroite, l'étalonnage de l'information ne peut pas porter sur des unités de taille inférieure à l'ilôt (2500 m² en moyenne). L'information comparée quant à elle doit être homogène sur l'ensemble de cette unité. L'étalonnage réalisé portera donc sur l'usage général de l'ilôt, information fournie dans la base et déterminée à partir des caractéristiques morphologiques du tissu urbain observées par photo-interprétation. Les résultats de cette analyse ayant montré qu'il existait une forte concordance entre la morphologie urbaine et le type d'usage, il était intéressant de vérifier si cette relation restait vraie avec les images SPOT.

2.2 CARACTERISATION DU TISSU URBAIN SUR IMAGERIE SPOT

La méthode a consisté à classer l'image de la ville en autant de catégories que de types de tissus urbains définis dans la base de données, à l'aide de deux procédures: une classification automatique et une analyse visuelle.

La comparaison de l'information nécessitait un système de manipulation et de traitement simultané des deux sources. On a procédé à un recalage des images satellitaires sur le fichier cartographique numérisé des îlots de la base choisi comme référentiel. Cette opération ne vise pas à restituer les images dans un système de projection mais à superposer géographiquement les îlots pour comparer leurs contenus. Par visualisation en mode maillé des contours des îlots de la base de données, il a été possible d'identifier des pixels remarquables à la fois sur l'imagerie SPOT et sur la base de données. La géométrie de la base de données étant parfaite, car issue d'un levé cadastral, il a suffi d'une transformation polynomiale du premier ordre pour superposer toutes les informations, avec une précision inférieure à dix mètres en R.M.S.

2.2.1 CLASSIFICATION DE L'IMAGE ET COMPARAISON AUX DONNEES DE LA BASE

L'image est classée en 7 catégories à partir de sites-tests, représentatifs des types de tissus urbains de la ville (tableaux 1 et 2). Chaque classe est représentée par un échantillon de tissus urbains; les champs d'entraînement de la classification correspondent à des zones homogènes sur l'image. L'homogénéité est définie par rapport à des caractéristiques de couleur (dominante et secondaires), de texture, de structure, de forme et d'appartenance à un ensemble plus vaste. Elle s'exprime sur l'image par une continuité de la répartition spatiale de ces éléments. Le caractère continu ou discontinu d'un paysage naturel ou humanisé est totalement subjectif et dépend exclusivement de l'échelle d'observation. La discontinuité d'un paysage urbain visible sur une image de résolution moyenne (SPOT ou TM) disparaît sur une image de haute résolution de type landsat MSS, où la ville n'est plus qu'une tâche. Il est généralement admis qu'une parcelle urbaine doit être représentée par 4 pixels au moins pour que l'on puisse l'identifier à l'œil ou à l'aide d'un algorithme de classification (Manuel of Remote Sensing 1983). Certains tissus sont très difficilement modélisables pour être reconnus par les algorithmes de classification automatique. Les paramètres qui interviennent et qui régissent le raisonnement du photo-interprète (cf 2.2.2) le prouvent. C'est pourquoi l'analyse automatique n'a pu délibérément prendre en compte certains thèmes souhaités par les urbanistes.

La classification de l'image est effectuée selon l'algorithme du maximum de vraisemblance. Quelques expériences précédentes (Niamey, I.G.N 1985) ont prouvé que la connaissance de l'environnement d'un pixel (connaissance au sens d'appartenance à une classe) améliorerait le résultat d'une classification. On obtient alors une légende plus fine par la définition de thèmes d'occupation du sol mixtes et en même temps une classification plus précise des zones homogènes. Cependant, l'opérationnalité requise pour cette expérience (faible coût et facilité de mise en œuvre) rendait cette phase du traitement automatique réductrice.

RESULTATS

L'image classée recouvre partiellement la zone qui correspond à la ville. De nombreux pixels sont classés en espace non urbain. Ce que l'on pourrait considérer comme un mauvais résultat exprime en fait le fort pourcentage d'îlots vides et le faible coefficient d'emprise au sol de nombreux îlots. La moitié d'entre eux est caractérisée par un coefficient d'emprise au sol inférieur à 50%, c'est à dire un nombre de bâtiments par parcelle inférieur à deux. Le nombre de bâtiments à plusieurs niveaux étant très faible, on peut pour la plupart des tissus assimiler ces deux notions (tableau 2). Selon les informations de la base de données, 31% des parcelles des îlots d'habitat sont vides. Cette situation résulte d'une anticipation des investisseurs et des aménageurs sur le développement de la ville, alors que la croissance urbaine accusait un fléchissement. L'image traduit bien la faible occupation des quartiers résidentiels et des nouveaux quartiers Kennedy, Brouko, Zone industrielle, Route de Gonfreville). Les quartiers denses sont plus nettement repérés par la classification (Koko, Liberté, TSF Nord...).

TABLEAU N° 2: INDICATEURS DE DENSITE D' OCCUPATION DES ILOTS D' HABITAT
(Source: Rexcoop 1987)

TISSUS	Coefficient d' emprise/sol		Nombre * Batiment/ha	Surface moyenne	Nombre Bat/parcelle
	Brut	Net			
Evolutif					
dense	39.4	44.8	31.7	123	1.92
peu dense	26.9	43.4	30.8	122	1.83
Résidentiel					
dense	20.1	37.0	16.9	166	1.30
peu dense	7.6	19.8	6.0	259	1.11
Collectif					
résidentiel	10.8		4.0	316	
dense	17.8		6.0	512	
Spontané					
urbain	6.0		12.3	51	
villageois	7.3		14.1	57	

* Nombre de batiments à l' hectare par rapport à la surface bâtie (densité nette)

La comparaison du fichier de l' usage général des îlots et de l' image classée exigeait de généraliser les résultats de la classification îlot par îlot. Ainsi, les pixels non classés compris dans un îlot ont-ils été affectés à la catégorie la plus représentée à l' intérieur de cette unité. Le croisement de l' image obtenue et de la base de données montre que la qualité de la classification est très variable selon les types de tissus. L' identification des quartiers d' habitat évolutif semble conforme aux données de la base. Plus des trois quart des îlots de cette catégorie ont été identifiés. Il s' agit des quartiers de Koko, TSF Nord, Konan, Belleville, Sokoura. La détection d' îlots résidentiels en périphérie, résulte d' une classification erronée d' un paysage mixte composé d' espace bâti et d' espace vert, caractéristique des franges de la ville. Néanmoins, au sein du quartier N° Gattakro, la classification discrimine nettement le tissu évolutif du tissu résidentiel.

D' une manière générale, tous les tissus à larges mailles sont mal identifiés. En réalité, l' augmentation des dimensions de la maille se traduit par un accroissement de l' hétérogénéité du milieu. L' algorithme de classification ne peut donc pas repérer la zone homogène correspondant à l' ensemble du tissu. Les pixels "purs" qui correspondent aux composantes du tissu ne peuvent être affectés à l' une ou à l' autre des catégories définies a priori. L' algorithme de maximum de vraisemblance employé ici n' est plus opérant lorsque la taille du motif de l' îlot augmente.

Ce phénomène peut être assimilé à une augmentation de la résolution spatiale. Comme l' ont montré JAMES R. IRONS et al (1985), l' accroissement de la résolution spatiale a des effets contradictoires sur la résolution spectrale, et sur les résultats d' une classification. Elle se manifeste tout d' abord par une baisse du nombre de pixels mixtes ce qui devrait avoir pour effet d' augmenter la précision de la classification. Dans le même temps elle accroît le nombre de pixels "purs" c' est à dire, la variabilité spectrale sur l' image, notamment en milieu urbain en raison de son hétérogénéité; ce qui rend la classification plus difficile en raison de l' augmentation du nombre de classes potentielles.

La fréquence des pixels mixtes (la valeur radiométrique du pixel est l' intégrale des réflectances variées de ses composantes) dans l' habitat évolutif se traduit par un certain lissage de l' image. La plus forte "pureté" radiométrique des pixels représentant les composantes (bâtiments, jardins, rues) des tissus à larges maille sont identifiées comme des individualités par l' algorithme, d' ou son impossibilité à les classer. La proportion de pixels mixtes et de pixels "purs" dépend donc du niveau de résolution spatiale et de ses interférences avec paysages représentés. Elle conditionne les résultats de la classification.

La sous représentation de certaines catégories incombe aussi aux différences dans les modes de collecte de l' information. Lors de la réalisation de la base de donnée on a repéré des types d' occupation du sol urbain sans souci de l' expression morphologique dans le paysage. Ainsi deux cases d' habitat spontané dans un îlot de 10 00 m² ont suffi pour

affecter ce type d'usage à l'ensemble de l'îlot, représenté sur l'image par un espace non bâti. L'affectation de l'usage industriel ou tertiaire à des îlots de plus de 20 000 m² dont le COS ne dépasse pas 0.125 relève de la même démarche. L'écart des informations est amplifié par la faible densité d'occupation des parcelles et des îlots, ce qui gêne l'appréciation des résultats de la classification.

Dans sa typologie, l'urbaniste photo-interprète a privilégié l'usage du sol sur son occupation effective et ses caractéristiques paysagiques. Pour que l'on puisse croiser les informations de la base et celles issues des images, il faut conserver un accès à une information brute, la plus proche possible du paysage représenté par l'image. Cela suppose d'établir une nouvelle taxonomie de l'espace urbain exprimant la notion de paysage morphologiquement dominant (Oliva P. 1987). L'information de la base de données est ici réductrice par son mode de codage et par sa représentation cartographique. Elle n'est accessible que sous une forme déjà interprétée, extrapolée, ce qui nuit à l'étalonnage de l'information et rend sa mise à jour délicate.

En conclusion, les résultats d'un traitement automatique opérationnel, c'est à dire qui ne nécessite pas plusieurs jours de travail sur un équipement sophistiqué, sont peu satisfaisants: imprécision de la cartographie thématique (en partie due aux algorithmes de classification, plus statistiques que "cartographiques") et disparition de thèmes secondaires. Le produit final, en l'état actuel ne peut participer à la constitution ou à la mise à jour d'une base de données. En cas d'absence de cartographie, il fournit toutefois une ébauche de stratification de la ville par type de tissu, qui n'est pas négliger lors de la conception de la structure de la base.

2.2.2 ETALONNAGE DE L'INFORMATION PAR ANALYSE VISUELLE

L'objectif est de déterminer la précision d'un repérage visuel des types d'usages ou tissus par photo-interprétation, à partir d'une grille de reconnaissance (tableau 3). L'opération s'effectue sur une visualisation en composition colorée de l'image multispectrale des trois canaux SPOT (sortie VIZIR COLOR) rectifiée géométriquement à laquelle on superpose les contours d'un échantillon de 200 îlots représentatifs.

L'élaboration de la grille a nécessité l'observation attentive de nombreux îlots. Elle comporte deux catégories de critères, ceux qui concernent l'image et ceux qui proviennent de la base de données. Chacun des critères pris isolément est inopérant à différencier un type de tissu. Un classement selon leur capacité (estimée) à discriminer le tissu fournit un code de lecture et d'interprétation. L'introduction d'informations extérieures à l'image est une aide précieuse à l'interprétation, elle permet notamment de mieux cerner les limites du motif observé et de le situer dans son environnement (voisinage, quartier, ville). L'observation d'un motif élémentaire de l'image dans les limites de l'îlot constitue un critère fondamental d'identification. Il permet de repérer les cas de figures suivants:

- l'intersection comme dans le cas de l'habitat évolutif, le motif se répète hors de l'îlot sur une zone homogène correspondant à l'ensemble du quartier,
- l'inclusion lorsque les limites du motif sont confondues avec celles de l'îlot. C'est le cas du tissu industriel ou résidentiel à large trame,
- l'exclusion lorsque l'intersection du motif élémentaire et des limites de l'îlot définit un ensemble vide. C'est le cas des zones de construction récentes illégalement construites ou non répertoriées de la périphérie.

Cette tentative de formalisation rend l'analyse visuelle plus systématique (les mêmes règles sont appliquées à toute l'image) et plus rapide. Elle n'exclut pas les difficultés d'interprétation. La précision des résultats a été estimée par l'IAURIF en comparant les hypothèses d'identification aux contenus des îlots répertoriés dans la base.

Sur les 200 îlots observés 175 ont été correctement classés, 25 ont des affectations erronées. Ces estimations comprennent aussi les erreurs d'affectations de la base de données. Il semble que les erreurs d'identification sont d'autant plus nombreuses que la taille de la trame urbaine est serrée, que les tissus ont des motifs peu différenciables (tissu dense et peu dense par exemple), qu'ils sont faiblement représentés dans la ville et localisés en périphérie.

TABLEAU N°3: GRILLE DE RECONNAISSANCE VISUELLE DES TISSUS

TISSUS	COULEUR	TEXTURE	STRUCTURE	ILOT	LOCALISATION VOISINAGE	MOTIF/ILOT
Industries Services	fond rouge blanc, gris en taches	hétérogène contrastée	noyau bâti ilôt n/bâti	vastes grds bâtiments	périphérie	inclusion
Evolutif Dense	fond gris taches rouges	hétérogène	peu visible	petits	centrale identique	intersection étendu à plusieurs ilôts
Evolutif peu Dense	fond gris taches rouges plus denses	hétérogène	perception d' une trame	variable	périphérique identique	intersection étendu à plusieurs ilôts
Résident Dense	fond rouge blanc, beige en taches	hétérogène	noyau bâti ilôt n/bâti	rectang. moyen	ilôt de même type	motif inclus dans l'ilôt
Collectif	fond beige ou blanc taches rouges	hétérogène	quadrillée	variable	à l' intérieur d' un autre tissu	inclus dans ilôt, ou étendu
Spontané	fond rouge bleu, gris en taches	hétérogène	agrégats	absent irrégulier	périphérique ilôt de même type	intersection étendu à plusieurs ilôts
Ilôt non Construit	rouge dominant	homogène	absence	absence	périphérie et entre quartier	exclusion hors ilôt

La confrontation des informations issues de la typologie de la base de données et de l' image classée a montré que le traitement automatique fournit des résultats intéressants sur le plan méthodologique mais difficiles à exploiter à des fins opérationnelles, à cause de l' inégale précision des résultats selon les types de tissus. L' objectif étant de fournir aux partenaires ivoiriens une méthode opérationnelle, l' analyse visuelle par photo-interprétation semble utile pour étalonner l' occupation du milieu urbain sur une image de référence. Mais en l' état actuel, il est impossible de reproduire par traitement automatique sur l' ensemble de l' image la complexité de l' analyse du photo-interprète, qui reste néanmoins lourde et consommatrice de temps. Mais c' est à ce jour le seul système d' interprétation "intelligent", au sens où il met en oeuvre toutes les connaissances de l' opérateur et peut traiter chaque point de l' image en fonction de son environnement (ensemble et sous ensembles auxquels un objet appartient).

2.3 REPERAGE DES CHANGEMENTS

A partir d' un traitement comparatif des deux images, il s' agit de fournir un indicateur de l' évolution potentielle qui puisse faciliter le suivi du terrain.

Dans cette ville de taille moyenne les changements survenus en un an et demi n' impliquent pas a priori de profonde transformation de l' espace urbain. Etant donné le fort pourcentage de parcelles vides ou faiblement occupées, le démarrage de vastes opérations de lotissement semble exclu. Il s' agira donc de repérer plus vraisemblablement les nouvelles constructions dans les ilôts existants et les extensions ou restrictions de l' espace vert. Des changements, somme toute mineurs, qui ne modifient pas l' aspect de tout ou d' une partie d' un quartier et ne sont représentés sur l' image que par quelques pixels.

L' image classée par tissus ne peut donc en rendre compte. En effet, en fonction des paramètres statistiques calculés sur les sites tests (moyenne, variance, écart-type d' une distribution des valeurs radiométrique) l' algorithme utilisé calcule pour chaque pixel sa probabilité statistique d' appartenance à une classe. Un changement localisé des valeurs radiométriques n' affecte donc pas l' allure générale de la distribution. La classification est ici inapte à relever des changements de peu d' ampleur.

La méthode adoptée calcule pour chaque pixel les différences radiométriques entre les deux images. Elle a été éprouvée dans le cadre d'une étude de l'IGN sur la ville du CAIRE (Campagne Ph., Le Men H. 1986).

Après correction radiométrique et recallage géométrique des données brutes. On calcule après égalisation des histogrammes des valeurs radiométriques et pour chacun des canaux, une différence radiométrique entre l'image SPOT et l'image Landsat TM. On effectue ensuite pour chaque îlot la moyenne des différences radiométriques obtenues dans chacun des canaux. La visualisation de cette image permet de repérer (en clair) les îlots susceptibles d'avoir le plus évolué. Afin de faciliter la lecture de ce document, on seuille l'image selon trois niveaux en fonction de la probabilité d'évolution (forte, moyenne, faible). On dispose alors d'un indicateur, pour préparer l'enquête terrain qui validera ces résultats et précisera les formes du changement.

La confrontation de ces résultats et des informations issues de la base de données appelle les remarques suivantes:

- les îlots susceptibles d'avoir évolué sont peu nombreux (une centaine environ). Ils sont localisés en limite des quartiers et pour 90% d'entre eux à la périphérie de l'agglomération

- la moitié d'entre eux concerne des îlots à usage industriel et tertiaire (Zone Industrielle, Gontreville, Aéroport),

- un quart se situe sur des îlots vides qui appartiennent à des quartiers de tissu évolutif peu dense (quartiers de Brouko, Belleville, Dar el Salam),

- le reste concerne des îlots intégrés aux quartiers résidentiels de standing (Kennedy, TSF Sud), quelques îlots dans les quartiers d'habitat évolutif dense de Kennedy et Sokoura, ainsi que quelques secteurs d'habitat spontané à l'Est de l'agglomération et à proximité de la Zone Industrielle centrale.

On observe les potentialités de changement sur les îlots les plus vastes et les plus hétérogènes. Mais, ils sont classés pour la plupart en espace non urbain sur l'image, et répertoriés selon l'usage urbain dans la base de données. Cela signifie que pour vérifier si le changement est effectif, les urbanistes ne pouvant utiliser ces informations devront retourner aux sources. Les informations extrapolées à partir des photographies aériennes et généralisées à partir de l'image sont utiles pour l'étalonnage mais impropres à détecter une évolution. Il conviendrait de collecter des informations selon des critères propres à comparer les paysages représentés sur l'image de référence et sur les images utilisées pour actualiser la base de données. Il serait souhaitable de réaliser un étalonnage pour choisir l'unité et les informations à comparer avant de recueillir les données de la base. Ce qui signifie de prévoir le mode d'actualisation au moment de son élaboration.

CONCLUSION

Cette étude débouche sur un processus semi-opérationnel d'aide à la mise à jour d'une base de données urbaines par l'analyse d'images satellitaires. Ce processus repose essentiellement sur la caractérisation visuelle de changements détectés entre deux images dont l'une est contemporaine de la base de données.

Mais, l'actualisation d'une base de données urbaines sur la ville de Bouaké à partir de l'imagerie satellitaire a soulevé des problèmes relatifs à la compatibilité des sources d'informations, aux techniques d'extraction et d'extrapolation des informations. Cette étude a révélé l'intérêt d'une analyse morphologique structurée de l'image en milieu urbain pour parvenir à une stratification représentative de l'espace urbain. La classification automatique de l'image à partir des notions de zones homogènes (ici les tissus urbains) fait référence à un paysage organisé. Elle débouche sur une stratification de l'espace urbain encore imprécise, mais utile en l'absence de cartographie disponible, pour élaborer une base de sondage.

Les points délicats rencontrés lors du croisement des données (étalonnage) concernent l'unité de collecte et la nature des informations collectées. Les images de résolution moyenne (SPOT ou Landsat TM), ne permettent pas d'accéder quelque soit le type de tissu à la parcelle ou aux bâtiments contenus dans l'îlot. En terme d'analyse urbaine cela signifie que l'échelle d'observation et de saisie des données ne peut concerner des unités de taille inférieure à l'îlot.

L' utilisation de l' image paraît tributaire du système de traitement et d'interprétation. La difficulté de simuler l' analyse visuelle est un facteur limitatif. La démarche d' interprétation suppose connue l' organisation géographique spécifique de l' espace représenté, ici, la ville moyenne d' Afrique occidentale comme objet d' étude. Toutefois, on remarque que l' intégration des informations de la base de données (limites des îlots, types d' usages) au traitement de l' image améliore les résultats en offrant la possibilité de décisions conditionnelles. L' image satellitaire ne peut donc faire l' objet d' un traitement séparé indépendant de la nature, de la structure et du contenu des données de la base. Sa contribution à la mise à jour de la base et l' amélioration des performances des systèmes nécessaires à son exploitation dépendent d' une prise en compte simultanée des différentes sources tant au niveau de la collecte que de la gestion et du traitement de l' information.

BIBLIOGRAPHIE:

ARMAND M. - Images spatiales et planification des villes du tiers monde. Mondes en Développement N° 56, 1986, Paris -Bruxelles.

ARMAND M. HERNANDEZ M. - Vers une identification automatique des tissus urbains. Bulletin S.F.T.P. N° 106, 1987-2.

BALLUT A. ,NGUYEN P.T. - Les besoins d' information pour l' aménagement urbain et régional. Apports de la télédétection spatiale à la satisfaction de ces besoins. Bulletin S.F.T.P. N° 93. 1984., Paris.

CAMPAGNE Ph., LE MEN H. - Caractérisation et quantification de l' évolution de l' agglomération du Caire par traitement d' images Landsat MSS et TM. Banque Mondiale I.G.N Paris 1986.

DENEGRE J. Apport de SPOT aux systèmes d' informations géographiques. Actes du colloque "SPOT 1 Utilisation des images bilan, résultats", 23-27 novembre 1987, Paris.

DIZIER J.L. et LEO. - Télédétection : techniques et applications cartographiques . Edit. FORHOM/BDPA, Paris 1986.

I.A.U.R.I.F. - Les données urbaines(rapport d' expérimentation sur la ville de Niamey). I.A.U.R.I.F., SIDAU-ROC, 1983.

JAMES R. IRONS et all: The effects of spatial resolution on the classification of Thematic Mapper Data. Journal of Remote Sensing, 1985, Vol.6, N° 8, 1385-1403.

LAPORTE J.M., CAMPAGNE Ph. - Niamey: télédétection satellitaire et croissance urbaine en pays en développement. I.G.N., Paris, 1984.

LAPORTE J.M. - Etude de textures sur des simulations du satellite SPOT. Thèse de troisième cycle, université de Paris 7, 1983.

MICHEL A. - L' utilisation de l' imagerie SPOT pour l' observation démographique en milieu urbain. Actes du colloque sur l' Information et l' Instrumentation Géographique, FI3G 1987, Lyon.

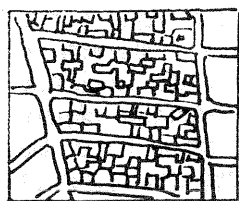
JENSEN J.R. (author-editor) - Urban/suburban land use analysis. In Manuel of Remote Sensing Volume II, American Society of Photogrammetry, falls Church, 1983.

OLIVA P., HUSSON A. - Classification supervisée des ensembles urbains et péri-urbain de la région d' Aix en Provence. Aspects méthodologiques. In " Urbanisme et télédétection satellitaire" C.N.E.S et S.T.U. Ministère de l' Equipement du Logement de l' Aménagement du Territoire et des Transports.

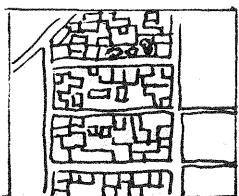
REXCOOP. - Expérimentation d' une méthode simplifiée de recueil de données urbaines à Bouaké- Côte d' Ivoire. Ministère de l' Equipement du Logement de l' Aménagement du Territoire et des Transports. Ministère de la Recherche et de l' Enseignement Supérieur. Ministère de la Coopération.

WELCH R. - Spatial resolution requirements for urban studies. Int. Journal of Remote sensing, vol.3, N° 2, Apr- june 1982.

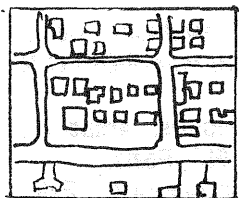
Schéma n° 1: Les tissus urbains d'après les photographies aériennes



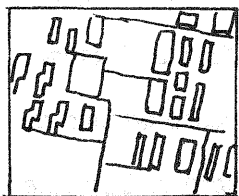
Habitat évolutif dense



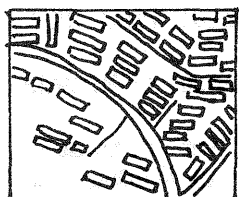
Habitat évolutif peu dense



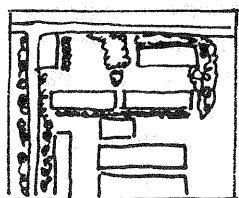
Habitat résidentiel



Habitat collectif haut



Habitat collectif en bandes



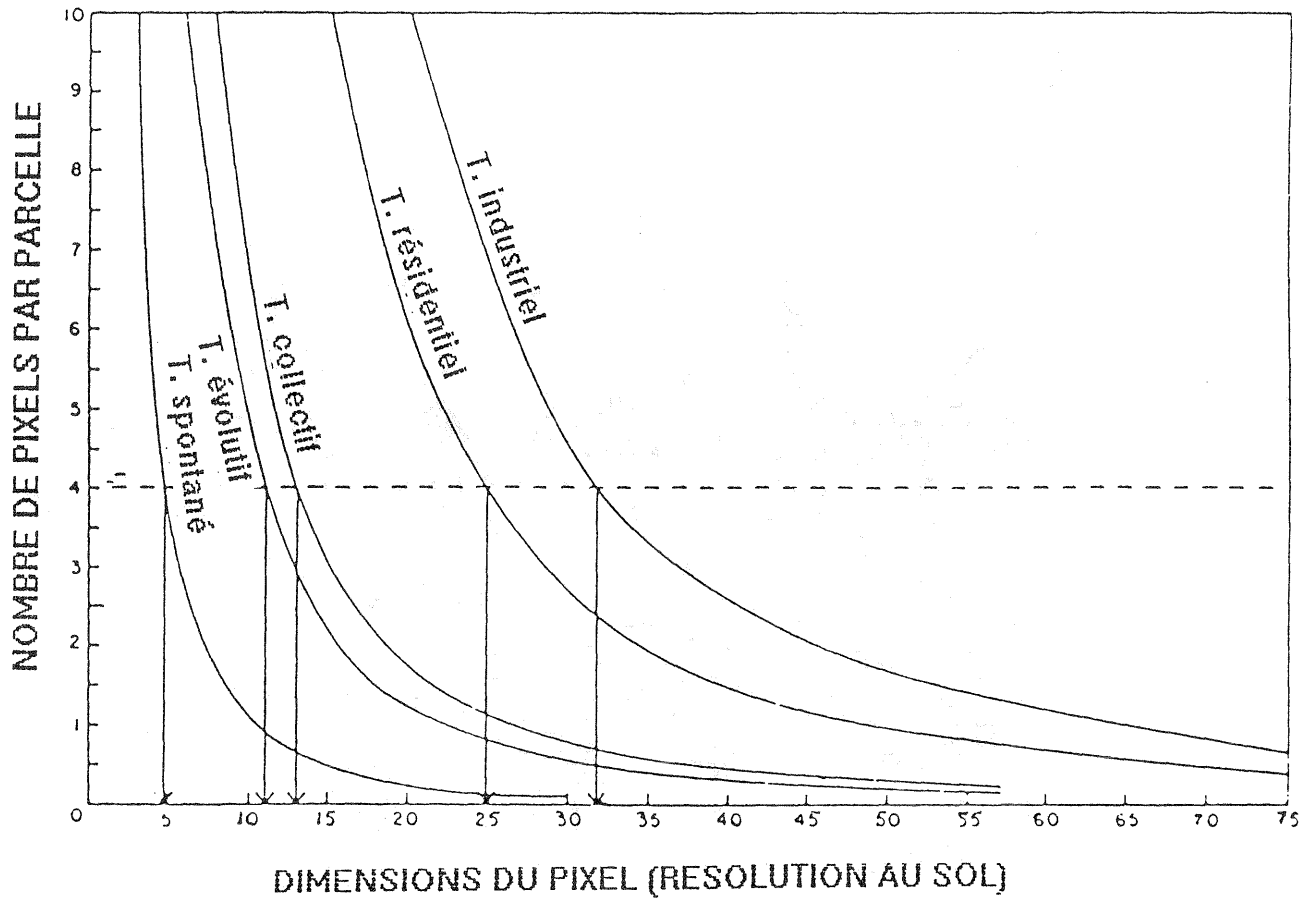
Tissus des secteurs industriels et de service



Habitat spontané

100 m échelle

Schéma n° 2 : Les tissus urbains et la résolution spatiale des images



BOUAKE: LES TYPES D' USAGES DES ILOTS

(d' après la base de données)

