

ETUDE DE L'ENVIRONNEMENT DE LUBUMBASHI DE 1973 A 1981
A L'AIDE DE LA TELEDETECTION PAR SATELLITE :
CROISSANCE URBAINE ET DEBOISEMENT

Environmental study of Lubumbashi from 1973 to 1981
by satellite imagery :
urban growth and deforestation

J. SOYER* & J. WILMET**

ABSTRACT

On basis of LANDSAT data of September 8, 1973 and May 8, 1981, a mapping of Lubumbashi urban growth and deforestation around the town has been done. Several methods have been used : a) analog ones by visual observation of the scenes in the different bands and on false color compositions; b) digital ones by direct analysis on T.V. screen, principal component analysis and index of vegetation $(7 - 5)/(7 + 5)$. The growing of the built area is best observed by index of vegetation in the rainy season, but the deforestation limit is well monitored by false color compositions. This deforestation is very rapid because of charcoal consumption by urban population (growing of about 6,5 % per year) and of firewood use by local industries. The deforested area of Lubumbashi and surroundings increased from 230 km² in 1973 to 1630 km² in 1981.

RESUME

En se fondant sur les données de LANDSAT du 8 septembre 1973 et du 8 mai 1981, un essai de cartographie de la croissance de l'espace urbain de Lubumbashi et de la dégradation de la végétation péri-urbaine a été réalisé. Diverses méthodes ont été combinées : a) analogique par observation des images dans les divers canaux et sur les compositions colorées; b) digitale par l'examen sur console de visualisation de chaque canal, l'analyse en composantes principales et l'utilisation de l'indice de végétation $(7 - 5)/(7 + 5)$. L'accroissement des surfaces bâties s'observe le mieux au moyen de l'indice de végétation en saison des pluies. Par contre les compositions colorées suffisent pour la détermi-

* Département de Géographie, Université de Lubumbashi, B.P. 1825, Lubumbashi, Zaïre.

** Unité de Géographie Régionale et de Télédétection, Université Catholique de Louvain, Place Louis Pasteur, 3, 1348 Louvain-la-Neuve et Laboratoire de Photo-interprétation et de Télédétection, Université de Liège, Place du 20-Août, 32, 4000 Liège, Belgique.

nation du front de déforestation en évolution rapide à cause de la consommation de charbon de bois par une population urbaine augmentant de 6,5 % en moyenne par an et de l'utilisation encore importante de bois de chauffe par des industries locales. La "clairière" ouverte dans la forêt autour de Lubumbashi est passée de 230 km² en 1973 à 1630 km² en 1981.

INTRODUCTION

La croissance des villes de l'Afrique centrale a été très rapide et leur environnement a subi et subit encore une transformation accélérée. L'organisation spatiale urbaine se caractérise :

- par une emprise au sol très importante de l'habitat, constitué en grande majorité de maisons sans étage,
- par une implantation souvent désordonnée des zones habitées périphériques,
- par une auréole péri-urbaine très diversifiée constituée de savane ou de forêt dégradée, de petits champs d'appoint, de jachères récentes, d'aires de charbonnage, etc ...

La croissance urbaine dans le Tiers-Monde et particulièrement en Afrique a fait l'objet de nombreuses études. Citons par exemple le Colloque du C.N.R.S. à Talence (1970), VENNETIER (1976) et, en ce qui concerne le Zaïre, les travaux du Bureau d'Etude et d'Aménagement Urbain (B.E.A.U.) à Kinshasa et à Lubumbashi, ou bien les travaux de de SAINT MOULIN & DUCREUX (1969), HOUYOUX & LECOANET (1975), HOUYOUX & LOHLETART (1975), de SAINT MOULIN (1977), PAIN (1979), VERBRUGGEN (1982), BRUNEAU & MBUYU (1983) et plus anciennement CHAPELIER (1957) et DENIS (1958).

Ce phénomène de la croissance urbaine est difficile à contrôler et à maîtriser en grande partie parce que les changements de l'environnement ne sont pas suivis de manière suffisamment précise et rigoureuse. Il est bien connu maintenant que les satellites, par leurs passages réguliers et fréquents (ex. tous les 18 jours dans le cas des LANDSAT, mais les conditions météorologiques réduisent considérablement les passages utiles) permettent de mieux appréhender la transformation d'un paysage et peuvent fournir des données, qui conduisent à l'établissement rapide de cartes exécutées à des coûts relativement modérés.

Le présent article voudrait montrer, dans le cas de Lubumbashi, comment le satellite constitue un excellent outil de synthèse pour l'étude de certains phénomènes d'évolution relativement rapide dont la cartographie au sol est très malaisée à réaliser. Deux aspects surtout ont

retenu l'attention : celui de la croissance spatiale de l'agglomération de Lubumbashi et celui de la dégradation de l'environnement se traduisant par un recul du front forestier autour de la ville.

METHODES ET TECHNIQUES

Les techniques analogiques utilisées dans l'analyse des données du satellite sont essentiellement :

- l'examen canal par canal, à l'aide d'un microscope binoculaire, des scènes au 1/1.000.000 reproduites sur film observé sur table lumineuse,
- des compositions colorées ont été également réalisées (Fig. 1 et 2) par combinaison de deux canaux (5 et 7, au laboratoire de télédétection de l'Université Catholique de Louvain) ou de trois canaux (4, 5 et 7 par BELFOTOP-Eurosense, Bruxelles).

L'examen de ces documents a permis de délimiter des zones homogènes et isophènes, dont l'interprétation a été faite en fonction de l'expérience de terrain, des couvertures aériennes disponibles, des cartes topographiques, géologiques, pédologiques et de la végétation, ainsi que de la littérature scientifique sur la région. Une analyse des données de 1973 a déjà été publiée (WILMET & SOYER, 1982).

Quant aux techniques numériques, elles consistent en :

- une digitalisation par ordinateur des bandes magnétiques d'enregistrements des satellites,
- un examen des images sur console de visualisation,
- une classification co-assistée, c'est-à-dire par dialogue simple avec la console canal par canal,
- une classification multispectrale par analyse factorielle en composantes principales,
- et enfin, une analyse d'un rapport de canaux fournissant un "indice de végétation".

Le plus employé a été défini par VINOGRADOV (1977) et consiste dans le rapport entre la différence des valeurs de réflectance de chaque pixel dans le canal 7 (infrarouge) et le canal 5 (rouge) et leur somme, soit $(7 - 5)/(7 + 5)$.

Cet indice est particulièrement utile pour distinguer les espaces bâtis ou défrichés des espaces encore couverts de végétation. C'est en effet dans l'infrarouge que la réflectance des parenchymes foliaires

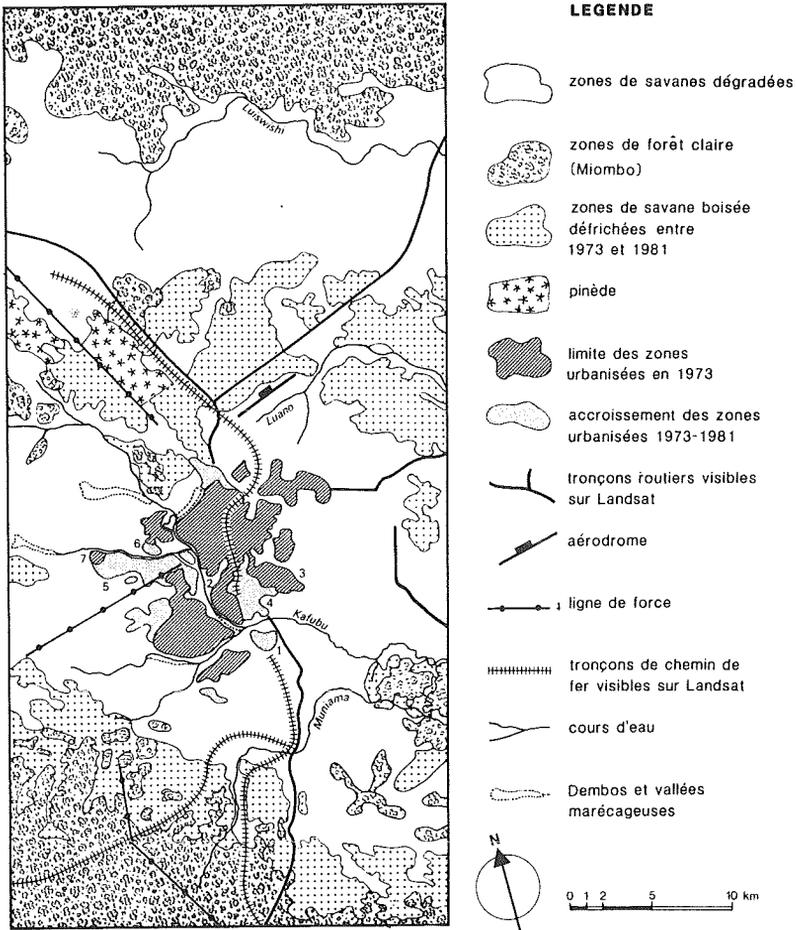


Fig. 1 : Modifications de l'environnement de Lubumbashi de 1973 à 1981. Les chiffres désignent les quartiers de la ville signalés dans le texte : 1. Kalebuka, 2. Kenya-Kamalondo, 3. Tabazaïre, 4. Kikalabuamba, 5. Kabulameshi, 6. Golf, 7. Karavia.

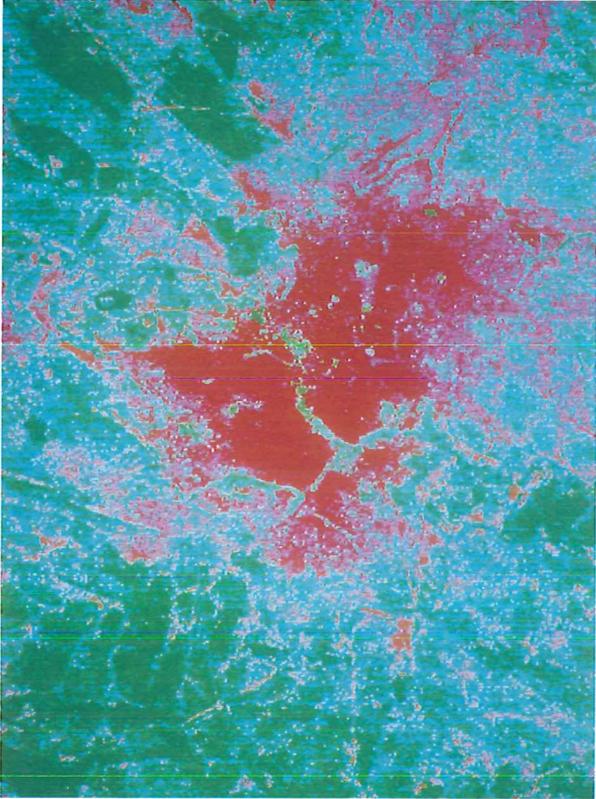


Fig. 2 : Aire urbanisée de Lubumbashi en 1981. La combinaison des réflectances dans l'infrarouge (canal 7) et dans le rouge (canal 5) selon l'indice de végétation de VINOGADROV $\left(\frac{7-5}{7+5}\right)$ permet de délimiter, avec une bonne approximation, les surfaces urbanisées, représentées en rouge. Par opposition, les plages en vert foncé correspondent principalement à des forêts, par exemple deux grandes pinèdes au nord-ouest de la ville ou encore des lambeaux importants de forêt claire (miombo) au sud de Lubumbashi. La savane de dégradation qui ceinture la ville correspond à un indice de végétation intermédiaire représenté en vert-bleu. Les champs péri-urbains et les jachères apparaissent en rose par plages assez étendues près de la ville et en semis de pixels dispersés plus loin.

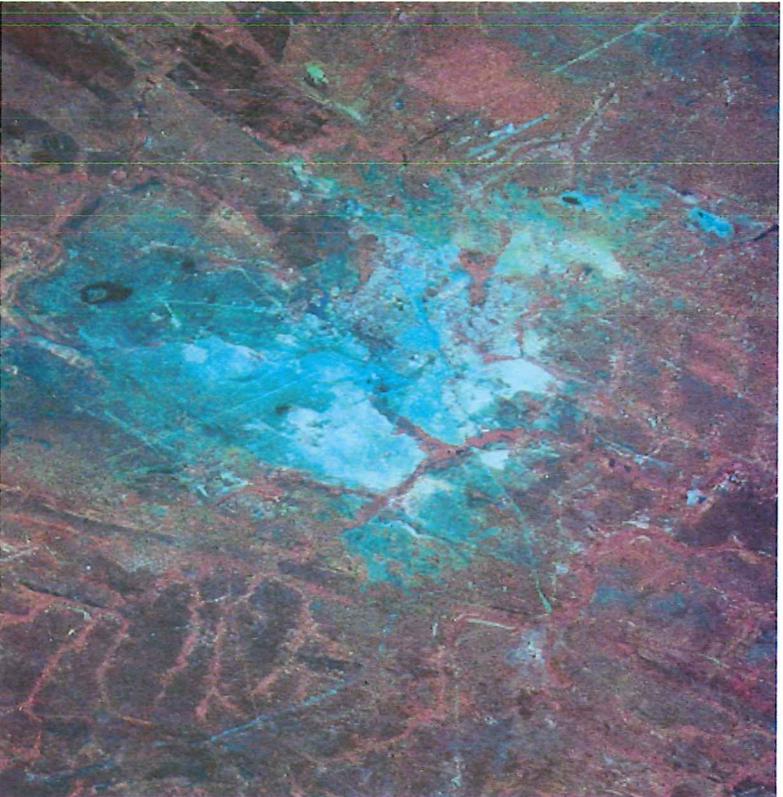
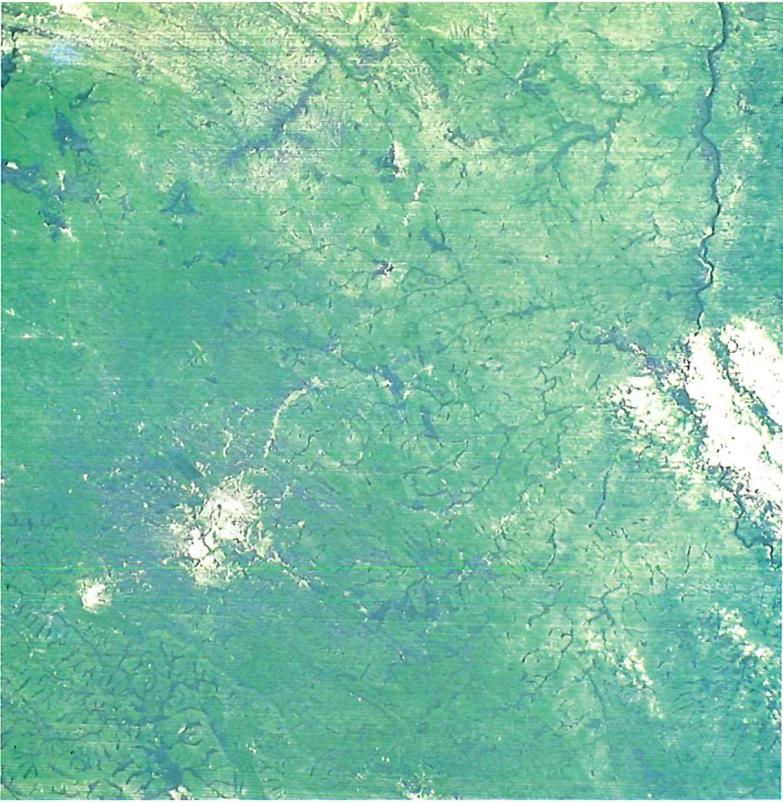


Fig. 3 : Composition colorée des canaux LANDSAT 5 et 7 de la région de Lubumbashi au 8 septembre 1973. En vert, les divers faciès de forêt claire, qui constitue la végétation dominante. Les "clairières" de Lubumbashi et celle, beaucoup plus petite, de Kipushi apparaissent en gris-blanc au sud-ouest. Lubumbashi et la zone boisée qui l'entoure couvraient à cette époque 230 km². On distingue au nord-ouest une partie du lac de retenue de la Lufira et les digitations formées par des plaines alluviales périphériques. Au nord-est, on aperçoit le tracé sinueux du Luapula recouvert dans sa partie méridionale par une nappe de nuages (composition colorée réalisée au laboratoire de télédétection de l'Université de Louvain).

Fig. 4 : Composition colorée des canaux LANDSAT 4, 5 et 7 de la région de Lubumbashi au 8 mai 1981. La végétation forestière apparaît dans diverses teintes du violet au rouge. La clairière de Lubumbashi s'étend sur 1630 km². L'auréole externe comprend de nombreux types de savane de dégradation. Les surfaces bâties du noyau urbanisé apparaissent en teintes très claires, tandis qu'autour de l'agglomération les places en vert représentent essentiellement des champs cultivés et des jachères (composition colorée numérique réalisée par BELFOTOP, Bruxelles).

est la plus forte (BELOV, 1959). Par contre, le canal 5 contient, entre 0,65 et 0,70 μm (raies B et C de FRAUENHOFER), la bande d'absorption principale de la chlorophylle. On maximalise ainsi les contrastes entre la végétation active et le reste.

Quelle que soit la technique utilisée, les interprétations ont été vérifiées par un contrôle de terrain aussi précis que possible. Outre les observations visuelles, des mesures radiométriques au sol ont été effectuées et elles feront l'objet d'une publication ultérieure.

En ce qui concerne les techniques analogiques, un contrôle de l'objectivité de l'interprétation a été recherché par des mesures densitométriques comparatives effectuées sur des zones homogènes de taxons caractéristiques.

L'évolution de Lubumbashi et de son environnement a été analysée sur base de données LANDSAT du 8 septembre 1973 et du 8 mai 1981. Ce sont les seuls enregistrements C.C.T. (compatible computer tape) de qualité moyenne à bonne, avec une couverture nuageuse inférieure à 10 %, qui existent pour la région pendant la période considérée. Il en résulte des contraintes gênantes pour l'interprétation.

Tout d'abord la calibration des senseurs est différente en ce qui concerne les enregistrements exécutés respectivement par LANDSAT 1 et 3. Ensuite la réception des données en Alaska (1973) et à Johannesburg

(1981) a donné lieu à des traitements, notamment de correction, qui ne sont pas identiques.

Toutefois la source des plus grandes difficultés est venue du contraste saisonnier entre les deux dates d'enregistrement. Le mois de septembre, à la fin de la saison sèche, est précédé de quatre mois pratiquement sans pluie. Après le maximum de défoliation de juillet, une régénération progressive de la végétation s'observe pendant la phase chaude de la saison sèche, avant les pluies (LEBLANC & MALAISSE, 1978). Le mois de mai au contraire se situe tout au début de la saison sèche et correspond au commencement de la fanaison du tapis herbacé. Par contre, certaines espèces arbustives sont en pleine floraison et, de façon générale, la strate arborée présente encore un fort développement foliaire. Si en mai le paysage est encore très verdoyant, il est au contraire profondément marqué en septembre par le passage des feux de brousse, qui ne laissent en savane ou dans la forêt claire (miombo) que des plages disséminées de graminées jaunies. En outre, le voile atmosphérique est beaucoup plus dense en fin de saison sèche, par accumulation de poussières et de fumées sous un niveau persistant d'inversion thermique.

CROISSANCE URBAINE DE LUBUMBASHI

Lubumbashi, anciennement Elisabethville, a fait l'objet d'une première monographie par CHAPELIER (1957). Une large synthèse sur l'écosystème urbain de Lubumbashi a été par la suite réalisée en 1978 par LEBLANC & MALAISSE. De son côté, BRUNEAU (1983) a analysé et cartographié la densité de la population de la ville, la trame viaire, la différenciation de l'espace urbain, en vue d'établir un Schéma Directeur d'Aménagement Métropolitain et de proposer un Plan local d'Aménagement Urbain.

Ces études ont mis en lumière la croissance très rapide de la population d'une ville d'abord minière, puis industrielle et enfin de plus en plus diversifiée. Au début des années 1970, le taux annuel de croissance démographique de la ville était de 10,8 %, d'après les enquêtes de HOUYOUX & LECOANET (1975). En considérant les quinze dernières années, on peut estimer le taux moyen de croissance annuelle à 6,5 % (LOOTENS-DE MUYNCK *et al.*, 1980). Pendant l'intervalle correspondant aux situations enregistrées par LANDSAT en 1973 et 1981, la population serait passée de 413.000 habitants environ à 671.000 (LOOTENS-DE MUYNCK, communication orale).

L'espace urbanisé, incluant la ville sensu stricto et les cités d'habitat populaire, y compris les quartiers subspontanés, les aires d'activité industrielle et même des espaces enclavés non bâtis, à l'exclusion des villages ou quartiers extérieurs couvrait en 1980 7000 ha environ (LOOTENS-DE MUYNCK *et al.*, 1980).

L'examen des données de satellite a montré que dans le cas de Lubumbashi c'est l'indice de végétation (Fig. 1) qui permet le mieux de circonscrire l'espace urbanisé tel que défini ci-dessus. La limite est parfaitement nette lorsque les zones d'habitat s'étendent en bordure d'une plaine alluviale, comme par exemple les quartiers Katuba et Kenya-Kamalondo encadrant de part et d'autre la rivière Lubumbashi ou encore les quartiers Kasungami et Kalebuka bordés au nord par la plaine de la Kafubu. Par contre, dans le cas de quartiers subspontanés, surtout à l'est et au sud de la ville, la présence de nombreux champs et de jachères à proximité des maisonnettes érigées sur des parcelles de terre battue rend la limite moins précise.

De manière tout à fait logique, l'aire urbanisée est beaucoup plus clairement représentée par l'indice de végétation en mai qu'en septembre, c'est-à-dire dans les conditions proches de la saison des pluies plutôt que celles de la fin de la saison sèche. Puisque l'agglomération est composée surtout de cités planifiées et de quartiers spontanés avec peu de végétation, le maximum de contraste avec la ceinture péri-urbaine de savane et de champs s'observe en saison des pluies.

Si on s'en tient aux données de chaque canal, il apparaît que c'est le canal 5 (0,6-0,7 μm - rouge) qui est le plus riche en information sur la ville. En mai, l'autre canal dans le visible (0,5-0,6 μm - vert) est également utile. Par contre, les canaux infrarouges fournissent moins d'informations. La limite du périmètre urbanisé ressort assez mal. Au stade phénologique du début de la saison sèche, il y a sans doute une tendance à l'égalisation des réflectances entre la ville où la végétation arborée et arbustive résiduelle est encore assez active tandis que la végétation herbacée des savanes et des champs péri-urbains commencent à se faner.

Vu le poids du canal 7 dans l'analyse en composantes principales, cette méthode s'est révélée peu intéressante pour l'analyse de la ville de Lubumbashi. Elle a, par contre, fourni des résultats intéressants lorsqu'elle était complétée par une analyse texturale (BEGUIN, DOTU & WILMET, 1980).

Un des résultats les plus positifs de la comparaison diachronique est la mise en évidence des secteurs de la ville où le développement de l'habitat a été le plus dynamique.

Dans le cas de Lubumbashi, les modifications suivantes sont les plus apparentes (Fig. 1 et 2) :

1. le quartier Kalebuka, quasi inexistant en 1973, se détache sous forme d'un secteur de bas indice de végétation s'opposant tant à la plaine de la Kafubu au nord qu'à la savane, aux champs et aux jachères périphériques. Le comptage de tous les pixels de réflectance élevée dans le canal 5 a permis d'évaluer la superficie de ce nouveau quartier, 538 pixels soit 241 ha,
2. alors que les quartiers Kenya-Kamalondo et Tabazaire étaient séparés en 1973 par une large plage non bâtie, l'image de 1981 révèle un remplissage par les constructions en sorte que la trame urbaine y devient continue. Cela correspond au développement du quartier de Kikabuamba,
3. à l'ouest de la ville, on observe une extension remarquable du quartier Kabulameshi et dans une moindre mesure de celui du Golf. Alors que la cité planifiée de la Karavia était séparée de la ville en 1973, une tendance à l'occupation de l'espace intermédiaire s'observe en 1981.

Un essai d'évaluation quantitative de la surface urbanisée a été tenté sur base des données de 1973. Par l'utilisation d'un masque, on a éliminé sur l'image l'espace certainement extra-urbain occupé par une savane de dégradation, des plantations forestières et plus loin encore par la forêt claire. Puisque la ville, avec ses constructions, ses rues, ses parcelles de terre battue, se caractérise par des réflectances généralement plus élevées que le milieu péri-urbain, une analyse niveau par niveau à la console de visualisation a permis de déterminer la valeur qui semble marquer le seuil de l'habitat groupé. Dans le spectre total de 256 niveaux, ce seuil se situe à 156 sur le canal 5 et à 152 sur le canal 7. Une sommation des pixels de valeur égale ou plus élevée que ce seuil correspond dans le premier cas à une superficie de 3930 ha et dans le second cas de 3280 ha. Par comparaison, le planimétrage des surfaces bâties représentées sur les cartes topographiques au 1/10.000, publiées en 1973 par Esacta (Rome) pour l'Institut Géographique du Zaïre, couvre 3350 ha. On pourrait à première vue estimer que la concordance est assez satisfaisante puisque l'écart entre l'estimation par les

données du canal 5 est de + 17,3 % et celles du canal 7 est de - 2,1 % par rapport aux données du levé topographique. Toutefois certaines réserves doivent être prises en considération :

- les cartes de 1973 ont été dressées sur base de photos aériennes de 1969, en sorte que les données du satellite de septembre 1973 ne peuvent leur être rigoureusement comparées,
- il est manifeste que certains quartiers de Lubumbashi comme l'ancienne ville européenne, ont une réponse spectrale proche de l'environnement péri-urbain en raison de l'importance de la végétation qui s'y trouve. Par contre des champs et des jachères en périphérie de la ville ont été assimilées, à cause de leur réflectance élevée, à des zones bâties.

On peut conclure que les techniques de télédétection par satellite se sont révélées positives pour l'évaluation de la superficie urbanisée, mais la précision doit en être encore sensiblement améliorée. Il ne fait pas de doute que l'augmentation du pouvoir de résolution des satellites comme LANDSAT - 4 et - 5 (30 m) et SPOT (10 à 20 m) et surtout une qualité accrue des senseurs, notamment en ce qui concerne leur stabilité, fourniront de meilleurs résultats.

DEGRADATION DES ZONES PERIPHERIQUES ET SAVANISATION

Dans cette partie de l'étude, l'analyse diachronique a été effectuée essentiellement de manière analogique à l'aide des compositions colorées (Fig. 3 et 4) complétée ensuite par un examen plus précis sur des numérisations en composantes principales et sur les données de l'indice de végétation. La synthèse de ces analyses est représentée sur la figure 2 dont voici le commentaire :

1. le recul de la forêt claire ou de la savane boisée est considérable pour une aussi courte période d'observation. La forêt claire qui en 1973 déjà était réduite à l'état de massifs discontinus au nord de la ville a vu ceux-ci disparaître presque complètement. Le front forestier continu s'établit en 1981 au-delà des rivières Luombe et Luiswishi, c'est-à-dire à 30 km du centre de la ville. Au sud, le recul est moins important mais atteint souvent 3 à 5 km. La présence d'alignements successifs de collines dans cette zone méridionale n'est sans doute pas étranger à ce moindre recul : la confection et le transport du charbon de bois sont plus aisés sur terrain peu vallonné. Il n'empêche que Lubumbashi est à présent isolée sur un immense plateau déboisé : il s'est ainsi créé une sorte de "clairière" au sein de la

forêt claire dont la forme est grossièrement circulaire (Fig. 3 et 4). En 1973, cette clairière, y compris la ville, couvrait environ 230 km², tandis qu'en mai 1981 elle s'étalait sur environ 1630 km², d'après des mesures faites sur des agrandissements à 1/370.000 des compositions colorées. En d'autres termes, Lubumbashi et son auréole déboisée occupaient un espace dont le rayon moyen est passé en sept ans et demi de 8,6 km à 22,8 km. L'emprise foncière de l'habitat a certes doublé pendant ce laps de temps, mais l'agglomération ne représente cependant en 1981 pas plus de 70 km². Les champs traditionnels se sont aussi considérablement développés pour l'alimentation de la ville en produits vivriers, principalement du maïs et du manioc. Mais la plus grande partie de la déforestation est causée par l'abatage pour la fabrication de charbon de bois (makala) et pour la production de bois d'industrie, de bois de chauffage et de bois d'oeuvre. Comme le charbon de bois est la principale source d'énergie des masses populaires, ce facteur est prépondérant au point de vue de la déforestation. Une comparaison de résultats d'enquêtes sur l'approvisionnement en charbon de bois de Lubumbashi en 1973 par KINAVWIDI & de SAINT-MOULIN et en 1980, par MALAISSE, BINZANGI & KAPINGA montre en effet que la consommation a augmenté en sept ans de 52,7 %, tandis que la population a crû d'environ 50 %. La consommation totale de charbon de bois a été estimée en 1980 à un million de sacs d'un poids moyen de 48 kg. D'après MALAISSE *et al.* (1980), cela représenterait un déboisement annuel de 8084 ha, auxquels s'ajoutent 5684 ha pour le bois de chauffe (industriel surtout et accessoirement ménager) et 198 ha pour les fagots, soit un total de près de 140 km² par an. Cette évaluation semble encore très inférieure à la réalité puisque la superficie totale déboisée entre septembre 1973 et mai 1981 est d'environ 1360 km², ce qui représente une consommation du patrimoine forestier de 181 km² en moyenne par an pendant cette période.

2. A l'intérieur de cette énorme trouée dans le manteau du miombo, les facies sont très nuancés et la détermination taxonomique souvent complexe. La dégradation de la forêt claire passe en effet par une série d'étapes dont la progressivité peut dans certains cas défier toute classification, même au sol. C'est le cas notamment de la transition entre le couvert forestier continu à dômes quasi jointifs et la savane boisée où la strate arborescente demeure importante en terme de surfaces couvertes. La résolution du satellite peut alors s'avérer trop faible pour opérer une distinction précise entre deux types de

dégradation voisins. Par ailleurs, la végétation des galeries forestières dégradées et d'une manière générale la végétation arborée des plaines alluviales possède une réponse spectrale voisine du miombo dégradé, surtout sur l'image de mai 1981. C'est pourquoi on a bien dû les réunir au sein d'un même taxon.

Un autre problème surgit à l'autre extrémité des stades transitionnels vers la savane herbeuse : il s'agit de la végétation arbustive ou arborée des hautes termitières qui subsiste en bouquets au milieu des savanes de dégradation après défrichement et brûlis. Cette végétation parfois assez dense parsemant la savane possède une réponse spectrale propre. Toutefois la résolution trop faible des LANDSAT 1 et 3 mêlent cette signature à celle de la zone environnante.

L'image digitale montre une surface grelée de taches sans qu'il soit possible d'attribuer celles-ci à la présence de termitières arborées ou bien à des plages herbeuses restées plus vertes. La densité de ces taches augmente progressivement lorsqu'on passe à la savane arborée à fort recouvrement.

Afin de simplifier l'interprétation, nous avons rangé les zones à macules dans les savanes herbeuses et arbustives de dégradation. Au contraire, les zones où ces taches prédominent ou couvrent toute la surface ont été regroupés dans une seule classe dite des savanes arborée.

Enfin, au contact même des surfaces construites ou dénudées par l'occupation humaine, il a été possible de distinguer une classe supplémentaire de savane herbeuse dégradée, elle caractérise des zones cultivées après récolte ou en jachère récente et des surfaces couvertes de cuirasses latéritiques et presque dépourvues de végétation.

CONCLUSION

L'exemple de Lubumbashi permet de se rendre compte des potentialités élevées de la télédétection par satellite dans l'étude de la dynamique de l'environnement.

Ainsi la comparaison diachronique des images de Lubumbashi a permis d'établir qu'en sept ans et demi la forêt claire a été abattue sur environ 1360 km². Pendant cette période, la population de la ville a augmenté d'environ 62 %. D'après les projections démographiques de de SAINT-MOULIN (1977), basées prudemment sur l'hypothèse d'un ralentissement du taux de croissance, Lubumbashi atteindrait un million d'habitants en

1991 et un million et demi en 2000. Les besoins en charbon de bois pour les masses populaires ne feront que croître. La consommation de bois aux fins industrielles se maintiendra sans doute encore longtemps. Même en tablant sur la valeur sous-estimée d'un déboisement de 14.000 ha en 1980 avancée par MALAISSE *et al.* (1980), on arriverait à une consommation de quelques 22.000 ha de forêt claire en 1990. La gestion rationnelle des ressources forestières se fait dès lors sentir de manière impérieuse.

En ce qui concerne la croissance urbaine, les images de satellite permettent de déterminer aisément les quartiers qui connaissent la plus forte extension de l'habitat. Il s'est avéré en outre que la délimitation de l'aire urbanisée, dans le cas d'une région tropicale à saisons contrastées, se révélait le mieux en saison de pluies, par l'utilisation notamment de l'indice de végétation. Malgré des premiers résultats encourageants, un pouvoir de résolution supérieur à celui des LANDSAT 1 à 3 est nécessaire ainsi que des performances accrues des senseurs pour envisager une cartographie précise des quartiers urbains en région tropicale.

REMERCIEMENTS

En complément des opérations réalisées au Laboratoire de Télédétection de l'Université Catholique de Louvain (Unité de Géographie régionale du Professeur WILMET), plusieurs traitements, notamment l'analyse de l'indice de végétation, ont été réalisés par BELFOTOP à Bruxelles. Nous remercions cette firme et particulièrement Monsieur G. DEMAN des facilités et de l'aide qu'ils nous ont accordées.

BIBLIOGRAPHIE

- BEGUIN, H., DOTU, H. & WILMET, J., 1980. Comparison of classification methods for urban images interpretation. *Int. Archives of Photogrammetry*, V, XXIII, 7, 84-91.
- BELOV, S.V., 1959. Photographie aérienne des forêts (traduit du russe en 1961 par l'Institut Français du Pétrole), *Izdatel'stvo Akademii Nauk S.S.S.R.*, Moskva-Leningrad.
- BRUNEAU, J.C., 1983. Cartographie de l'environnement et aménagement urbain à Lubumbashi (Zaïre). *Geo-Eco-Trop*, 7, 1-4, 19-47.
- BRUNEAU, J.C. & MBUYU, M., 1983. L'urbanisation de la ville de Lubumbashi : passé, présent et avenir possible. *Zaïre-Afrique*, 176, 376-390.

- CHAPELIER, A., 1957. Elisabethville, essai de géographie humaine. *Acad. Roy. Sc. Coloniales*, Bruxelles, Mém. in 8°, Nouv. Sér., 4, 5, 167 p.
- C.N.R.S., 1970. La croissance urbaine en Afrique et à Madagascar. *Travaux et documents de Géographie tropicale*, CEGET, 7, 280 p.
- DENIS, J., 1958. *Le phénomène urbain en Afrique Centrale*. Duculot, Gembloux, 407 p.
- de SAINT-MOULIN, L., 1977. Perspectives de la croissance urbaine au Zaïre. *Zaïre-Afrique*, 111, 1-16.
- de SAINT-MOULIN, L. & DUCREUX, M., 1969. Le phénomène urbain à Kinshasa. Evolution et perspectives. *Etudes Congolaises*, O.N.R.D., Kinshasa, 12, 4, 117-142.
- HOUYOUX, J. & LECOANET, Y., 1975. *Lubumbashi : démographie, budgets ménagers, étude du site*. B.E.A.U., Kinshasa, 143 p.
- HOUYOUX, J. & LCHLETART, L., 1975. *Kolwezi, la ville, sa population et les budgets ménagers*. B.E.A.U., Kinshasa, 155 p.
- KINAVWIDI, L.N. & de SAINT-MOULIN, L., 1973. La circulation urbaine à Lubumbashi. Résultats de l'enquête effectuée du 19 au 25 février 1973. UNAZA, Lubumbashi, 81 p. (document stencillé).
- LEBLANC, M. & MALAISSE, F., 1978. *Lubumbashi, un écosystème urbain tropical*. UNAZA, Lubumbashi, 166 p.
- LOOTENS-DE MUYNCK, M.T., BRUNEAU, J.C., LOOTENS, M. & MALAISSE, F., 1980. Lubumbashi en 1980 et ses relations avec son environnement régional. *Geo-Eco-Trop*, 4, 1-4, 3-29.
- MALAISSE, F., BINZANGI, K. & KAPINGA, I., 1980. L'approvisionnement en produits ligneux de Lubumbashi (Zaïre). *Geo-Eco-Trop*, 4, 1-4, 139-163.
- PAIN, M., 1979. *Kinshasa. Ecologie et organisation urbaine*. Thèse Univ. Toulouse - Le Mirail, Inst. Géogr., 476 p. et un atlas.
- VENNETIER, P., 1976. *Les villes d'Afrique tropicale*. Masson, Paris, 190 p.
- VERBRUGGEN, G., 1982. L'avenir de Lubumbashi. Plaidoyer pour une urbanisation organisée. Mém. inédit, FSA, Unité d'Architecture, U.C.L.
- VINOGRADOV, B.V., 1977. Remote sensing in ecological botany. *Remote Sensing of Env.*, 6, 83-94.
- WILMET, J. & SOYER, J., 1982. Lubumbashi et le Sud-Est du Haut-Shaba : interprétation de données Landsat. *Bull. Soc. Belge Et. Géogr.*, 1, 87-100.

