



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE



PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR L'ENVIRONNEMENT

SYSTÈME MONDIAL DE SURVEILLANCE CONTINUE DE L'ENVIRONNEMENT

**Projet pilote sur la surveillance continue
de la couverture forestière tropicale**

BÉNIN

*Cartographie du couvert végétal
et étude de ses modifications*

SYSTEME MONDIAL DE SURVEILLANCE CONTINUE DE L'ENVIRONNEMENT

PROJET PILOTE SUR LA
SURVEILLANCE CONTINUE DE LA COUVERTURE FORESTIERE TROPICALE

BENIN

CARTOGRAPHIE DU COUVERT VEGETAL ET ETUDE DE SES MODIFICATIONS

Rapport préparé pour
le Gouvernement du Bénin
par

l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
agissant en qualité d'agence de coopération du
Programme des Nations Unies pour l'environnement

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE

Rome, 1980

Table des Matières

	<u>Page</u>
PREAMBULE	iii
RESUME	iv
CHAPITRE 1 - INTRODUCTION	1
1.1 ANTECEDENTS ET OBJECTIFS	1
1.2 ACTIVITES ENTREPRISES	2
1.3 ACTIVITES ANTERIEURES	3
1.4 ORGANISATION DU TRAVAIL	3
1.5 PRESENTATION DU RAPPORT	3
CHAPITRE 2 - LE MILIEU ECOLOGIQUE	5
2.1 CLIMAT	
2.1.1 Zone littorale	5
2.1.2 Zone septentrionale	6
2.1.3 Zone de transition	9
2.2 ROCHES MERES ET SOLS	9
2.2.1 Le littoral	10
2.2.2 Le plateau cristallin	10
2.2.3 Le bassin du fleuve Niger	11
2.3 L'ACTION DE L'HOMME	11
2.3.1 Le Sud	
2.3.2 Le Centre et le Nord	13
CHAPITRE 3 - PREPARATION DE LA CARTE ECOLOGIQUE DU COUVERT VEGETAL	14
3.1 CLASSIFICATION DE LA VEGETATION	14
3.2 ECHELLE ET LEGENDE DE LA CARTE	16
3.2.1 Echelle de la carte	16
3.2.2 Légende	16
3.3 INTERPRETATION DES IMAGES LANDSAT	16
3.3.1 Introduction	16
3.3.2 Couverture Landsat	18
3.3.3 Méthode d'interprétation des images Landsat	21

		Page
3.4	REPORT ET CARTOGRAPHIE	24
3.4.1	Report	24
3.4.2	Etablissement de la maquette	26
3.5	PRECISION DE LA CARTOGRAPHIE	26
CHAPITRE 4	- CLASSES DE VEGETATION CARTOGRAPHIEES	28
4.1	SURFACE ET DYNAMISME DES FORMATIONS CARTOGRAPHIEES	28
4.2	ERREUR D'ESTIMATION DES SURFACES	28
4.3	DESCRIPTION DES FORMATIONS CARTOGRAPHIEES	29
CHAPITRE 5	- MODIFICATION DU COUVERT VEGETAL DANS LES ZONES D'ETUDE	41
5.1	INTRODUCTION	41
5.2	PROCEDURE	41
5.2.1	Photo-interprétation	42
5.2.2	Report	42
5.2.3	Cartographie	43
5.3	ETUDE DES ZONES - RESULTATS	44
5.3.1	Zone d'étude de Malanville	44
5.3.2	Zone d'étude de Djougou	46
CHAPITRE 6	- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	48
6.1	CONCLUSIONS	48
6.2	RECOMMANDATIONS	50
BIBLIOGRAPHIE		51a
ANNEXE 1	LEGENDE	52
ANNEXE 2	FACTEURS ECOLOGIQUES	
ANNEXE 3	DOMINANTES FLORISTIQUES DES FORMATIONS CARTOGRAPHIEES RESUME DES FICHES DE TERRAIN	56
ANNEXE 4	PROCEDURES DES RECONNAISSANCES AERIENNES	59
ANNEXE 5	INTERPRETATION DES TYPES DE VEGETATION EN FONCTION DES COMBINAISONS DES CANAUX SPECTRAUX	62
ANNEXE 6	CLES D'INTERPRETATION DES IMAGES LANDSAT	64
ANNEXE 7	COMMENTAIRES SUR L'INTERPRETATION DES DIFFERENTES IMAGES LANDSAT	71
ANNEXE 8	PRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA METHODE POUR DEFINIR LES ZONES ECO-FLORISTIQUES	75
CARTE 1	STATIONS METEOROLOGIQUES	7
CARTE 2	DOCUMENTS DE TELEDETECTION UTILISES	17
CARTE 3	OBSERVATION PHYSIONOMIQUE DE LA VEGETATION	23a
CARTE 4	CLASSIFICATION DE LA VEGETATION	29a
CARTE ECOLOGIQUE DU COUVERT VEGETAL DU BENIN (deux feuilles) - Dans la pochette		

PREAMBULE

Ce rapport a été préparé par le coordonnateur du projet pilote (R. Baltaxe, Division des Ressources Forestières, FAO) à partir d'un rapport technique rédigé par J. Guellec (Centre Technique Forestier Tropical), consultant du projet au Bénin, et d'une contribution (Chapitre 2) par L. Okio, Directeur national du projet pilote. La carte écologique du couvert végétal du Bénin a été dressée par le consultant en utilisant notamment les données du terrain recueillies par l'équipe nationale du projet. La légende et les couleurs de la carte ont été établies par le coordonnateur; H. Engeler, cartographe à la FAO, a réalisé le dessin général de la carte et supervisé l'impression.

RESUME

Les objectifs du présent projet dérivent de la recommandation formulée par la Conférence des Nations Unies sur l'environnement (Stockholm, 1972) concernant la mise en oeuvre d'une surveillance continue du couvert forestier du globe, utilisant les renseignements existants ou obtenus grâce aux techniques de télédétection.

Les objectifs du projet pilote au Bénin étaient: d'obtenir des données sur la couverture forestière actuelle et sur les modifications quantitatives et qualitatives de la couverture forestière dans des zones critiques, et de publier une carte à petite échelle de la végétation actuelle sur l'ensemble du pays.

Avant le début des travaux de terrain, et en collaboration avec l'Unesco, l'élaboration d'une classification de la végétation ligneuse dans l'aire du projet (Togo, Bénin, Nigéria, Cameroun) a été confiée à l'Institut de la Carte Internationale du Tapis Végétal. Pendant les travaux de terrain, il a été possible de préciser les zones éco-floristiques dans cette classification.

A partir de l'interprétation des images Landsat complétée par l'examen de photographies aériennes, par des sondages de terrain et des survols, une carte du couvert végétal du Bénin au 1:500 000 ème a été préparée. Vingt-deux classes de végétation naturelle, réparties en trois zones éco-floristiques, figurent dans la légende de la carte.

L'estimation de la superficie des formations cartographiées a montré que les forêts et galeries forestières importantes couvrent moins de 1% de la surface du pays, les forêts claires et savanes boisées 11% et les formations les plus ouvertes - savanes arborées et arbustives, 53%. L'analyse des changements subis par le couvert végétal dans deux zones d'étude a indiqué que l'appauvrissement du couvert de la végétation ligneuse est toujours en cours et parfois d'un taux assez élevé.

Il a été conclu qu'il serait utile d'entreprendre une surveillance continue de ce phénomène afin de fournir des données qui permettront des interventions de protection et d'aménagement dans les régions les plus menacées. La carte du couvert végétal peut servir de base à une sélection des zones critiques qu'il convient de surveiller en priorité, à partir d'une cartographie plus détaillée.

Il est recommandé de maintenir l'équipe formée dans le cadre du projet pilote et d'entreprendre un programme de formation du personnel supplémentaire afin de disposer d'une suffisance de techniciens béninois pour assurer les activités de surveillance continue. Les activités lancées par le projet pilote seront poursuivies pendant six mois en 1979 par un projet du Programme de Coopération Technique de la FAO.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 ANTECEDENTS ET OBJECTIFS

La Conférence des Nations Unies sur l'environnement (Stockholm, 1972) s'inspirant du document "Aménagement des ressources naturelles et environnement - Foresterie" qui lui était présenté par la FAO, a proposé un Programme d'étude des forêts du globe. La recommandation N° 25 relative à ce Programme était la suivante:

"Il est recommandé que le Secrétaire général prenne des dispositions pour faire en sorte qu'une surveillance continue du couvert forestier du globe soit assurée dans le cadre des programmes de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, en coopération avec les Etats Membres.

- (a) Le Programme d'étude des forêts du globe ainsi exécuté fournirait des données de base, notamment sur l'équilibre entre la biomasse forestière mondiale et l'environnement, et sur l'évolution de la biomasse forestière considérée comme ayant des répercussions sensibles sur l'environnement;
- (b) les renseignements pourraient être tirés des inventaires existants et d'activités en cours, ou obtenus grâce aux techniques de télédétection;
- (c) le programme de protection des forêts décrit plus haut pourrait être intégré à cet effort, grâce à l'emploi de moyens techniques perfectionnés, et notamment de satellites équipés de dispositifs de reproduction graphique de types divers, qui puissent surveiller en permanence l'ensemble des forêts."

En conformité avec cette recommandation la FAO a soumis en 1973, au Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), une proposition pour la formulation d'un tel programme de surveillance continue. Elle était intentionnellement limitée aux forêts tropicales car il avait été jugé plus important et urgent de lancer un programme de surveillance continue dans ces régions où la couverture forestière est davantage menacée et la régression forestière beaucoup moins contrôlée que dans la zone tempérée.

La formulation de ce programme a été réalisée en 1974 par la FAO, agissant en tant qu'agence de coopération du PNUE (Système mondial de surveillance continue de l'environnement du PNUE, Projet 0202-73-05). Les résultats ont été publiés dans le "Rapport sur la formulation d'un projet de surveillance continue de la couverture forestière tropicale" (FAO, Rome, 1976).

Le présent projet pilote fut formulé et signé par le PNUE et la FAO en août 1975. Bien que le projet de formulation ait traité des aspects d'une surveillance continue des régions tropicales à l'échelle globale, l'exécution du projet pilote a été limitée à trois pays - Togo, Bénin, Cameroun - et a inclus une collaboration avec la Nigéria (document du projet, article 3.01).

En accord avec le document du projet (2.02) une collaboration était établie avec l'Unesco pour l'adaptation du travail de cette agence, intitulé "Classification internationale et cartographie de la végétation", aux fins de la surveillance continue de la couverture forestière tropicale (voir 3.1).

Dans le document du projet (article 2.02), il est énoncé que "le principal objectif du projet est de mettre en oeuvre l'opération de surveillance continue de la couverture forestière dans quatre pays contigus de l'Afrique tropicale... Les résultats escomptés sont:

- obtenir pour ces quatre pays des données sur la couverture forestière actuelle et sur les modifications quantitatives et qualitatives de la couverture forestière dans des zones critiques;
- préciser, tester et éventuellement corriger la méthodologie générale telle qu'elle a été esquissée dans le rapport du projet 0202-73-005 en l'appliquant à ces quatre pays".

En octobre 1976 un accord concernant les modalités de l'exécution du projet pilote au Bénin fut signé par le Gouvernement et la FAO.

1.2 ACTIVITES ENTREPRISES

Les activités au Bénin ont commencé par l'étude des images Landsat, des photographies aériennes les plus récentes, des cartes topographiques et d'autres documents disponibles. Cette phase préliminaire de familiarisation a été suivie par l'interprétation progressive des images par satellite, en fonction des nombreux contrôles de terrain, et vers la fin, de quelques reconnaissances aériennes.

A partir d'une analyse des données météorologiques et celles recueillies sur le terrain les zones éco-floristiques et les classes de la légende de la carte au 1:500 000 ème ont été définies et la maquette de la carte a été établie. La préparation de ceci à l'impression a été ensuite exécutée au siège de la FAO.

Deux zones d'étude ont été sélectionnées et les photographies aériennes prises à un intervalle de 25 ans ont été interprétées à l'aide des contrôles de terrain. L'interprétation de chaque date a été reportée sur une carte et les différences ont été analysées.

Des photographies ont été prises et la réalisation d'un film a été préparée en vue de produire du matériel audio-visuel aux fins de la population rurale concernant l'intérêt d'éviter la dégradation du couvert végétal.

Les deux techniciens de contrepartie ont assisté au cours de photo-interprétation organisé par le projet à Yaoundé en février 1976. La formation du personnel technique de contrepartie a été poursuivie pendant les missions du consultant. Deux bourses de quatre mois pour des stages en télédétection ont été accordées au personnel technique.

Un document de projet pour la poursuite des activités du projet pilote pendant une période de trois ans a été préparé en collaboration avec le Gouvernement.

1.3 ACTIVITES ANTERIEURES

En 1976 le projet PNUD/FAO BEN/73/014 a exécuté un inventaire de reconnaissance sur quelques 8 560 km² au centre-nord du pays. La photo-interprétation de cette région, aux fins de l'inventaire, a été faite par le même consultant qui ultérieurement a préparé la carte du couvert végétal du projet pilote pour laquelle les données de l'inventaire ont fourni des informations floristiques. Le même projet a exécuté un inventaire de la forêt de la Lama, de quelques 100 km² au sud du Bénin.

1.4 ORGANISATION DU TRAVAIL

L'agence de coopération du Gouvernement était le Ministère du développement rural et des coopératives qui a nommé un professeur du département de géographie à l'Université du Bénin comme Directeur national du projet et homologue de l'expert de la FAO avant l'arrivée de ce dernier début février 1977. Deux techniciens du Service des Eaux et Forêts qui avaient travaillé au projet BEN/73/014 ont été également affectés au projet pilote. A partir de septembre 1977, cinq étudiants géographes ont collaboré au projet à temps partiel. Un botaniste de l'Université du Bénin a également participé au travail de terrain.

En accord avec le document du projet (3.01) l'expert a été chargé de l'exécution du projet au Bénin et au Togo. Ceci a freiné le progrès dans tous les deux pays, ainsi avec l'accord des autorités béninoises, l'expert a été affecté exclusivement au Togo à partir d'août 1977. Il n'a pas été possible de recruter un remplacement qualifié à plein temps et un consultant a donc été affecté au Bénin pendant deux mois en 1977 (septembre-novembre) et deux mois en 1978 (juin-août). Le consultant, qui a donné le cours à Yaoundé (1.2), a poursuivi la formation du personnel technique de contrepartie qui a exécuté la plupart des contrôles de terrain pendant l'intervalle entre ses deux missions. Ainsi la plupart de la photo-interprétation, cartographie et analyse des zones d'études a été faite par le personnel de contrepartie sous la direction du consultant.

Conformément au document du projet le Gouvernement a nommé un Comité de coordination, qui a surveillé le programme de travail du projet.

1.5 PRESENTATION DU RAPPORT

Un exposé sommaire des antécédents et objectifs du projet pilote, ainsi que de l'organisation du travail, est donné au premier chapitre.

Une description du milieu écologique du pays est présentée au chapitre 2: roches mères et sols, l'action de l'homme sur la végétation.

Le chapitre 3 traite des aspects de la carte écologique du couvert végétal au 1:500 000 ème, des données Landsat utilisées, la méthode de les interpréter et la procédure employée afin d'établir la carte.

Un tableau des superficies cartographiées, par groupement des formations végétales, est présenté au chapitre 4, ainsi qu'un aperçu sur la dynamique de ces formations et une description des classes de végétation cartographiées.

Le chapitre 5 traite de la méthode employée pour l'étude des modifications du couvert végétal dans deux zones et des résultats obtenus.

Les conclusions concernant l'application des données Landsat et la poursuite des travaux de surveillance continue ainsi que les recommandations pour leur réalisation sont présentées au chapitre 6.

CHAPITRE 2

LE MILIEU ECOLOGIQUE ^{1/}

2.1 CLIMAT

Généralités

Les données climatiques de la République Populaire du Bénin peuvent être considérées comme un reflet des caractéristiques de la sous-région Ouest-Africaine. Des côtes de l'Océan Atlantique jusqu'aux zones désertiques, l'Afrique Occidentale connaît une succession de climats. Très humides au sud, ils deviennent progressivement secs au fur et à mesure qu'on s'enfonce à l'intérieur des terres; les précipitations (sauf au Bénin et au Togo) décroissent de 2 000 mm sur les côtes à 300 mm sur les franges méridionales du désert, notamment à la latitude de la boucle du Niger. Les pluies, principal facteur de différenciation des saisons sous les tropiques, sont liées au mouvement d'un front de masses d'air, le Front intertropical.

Les secteurs les plus pluvieux connaissent un climat équatorial. Plus au Nord prédomine un climat soudanien, et enfin, avec la raréfaction des pluies, le Sahel. Une telle zonalité se retrouve au Bénin où l'on distingue dans ce pays allongé du nord au sud entre les 6° et 12° de latitude Nord, une zone littorale relativement humide, un domaine continental où prédominent les influences soudaniennes et, entre les deux, une zone de transition.

2.1.1 Zone littorale

Son rayon d'influence s'étend parfois au-delà du 7°30 de latitude Nord. Par la température, l'humidité de l'air, les vents et la répartition des saisons, ce domaine appartient au climat de type tropical humide. Ce climat de transition entre le climat équatorial et le climat tropical est toutefois très proche du climat équatorial par l'abondance des précipitations: on compte plus de 9 mois de pluie par an.

La saison chaude et la saison pluvieuse sont difficiles à distinguer à cause de la température généralement assez élevée. Pour trois stations (Athiémé, Cotonou, Porto-Novo) les températures maximum moyennes les plus basses et les plus élevées sont (en centigrades) 28°8; 28°2; 27°7 et 34°7; 32°2; 33°0.

La valeur moyenne de la température ne subit d'un bout de l'année à l'autre que de faibles variations. Elle oscille entre 22° et 33°, avec une moyenne annuelle de 27°. L'époque la plus chaude se situe entre les mois de février, mars, avril.

Le degré hygrométrique, assez considérable dans la zone, est moins élevé que dans les autres climats de type "guinéen". Elle accuse une moyenne annuelle de 83% dans la région de Porto-Novo, de 82% environ à Cotonou.

^{1/} Préparé par L. Okio, Directeur National du projet pilote en République Populaire du Bénin.

La moyenne annuelle de l'évapotranspiration excède rarement 1 000 mm. Toutefois, certaines exceptions peuvent apparaître en fin de grande saison sèche particulièrement dans les districts les moins humides.

L'alizé maritime est le vent dominant. Ce vent du SO connaît son maximum entre janvier et juillet, période à laquelle il croît régulièrement.

De décembre à janvier, cette zone côtière est soumise à un vent sec et froid, "l'harmattan" ou alizé continental venant du NE que la barrière montagneuse de l'Atakora canalise vers le sud et sur le littoral.

Les pluies

Le climat subéquatorial se caractérise par une forte pluviométrie, pouvant atteindre 4 000 mm par an (Basse-Guinée). En Sierra Leone, en Côte-d'Ivoire et au Ghana, la pluviométrie varie entre 2 000 et 3 300 mm de pluie par an le long de la côte. Sur le littoral béninois par contre, on observe des valeurs très inférieures: 800 à 1450 mm de la frontière togolaise à la frontière nigérienne (Carte N° 1). Cette situation pluviométrique s'explique principalement par le dessin oblique de la côte par rapport aux vents dominants.

Les données ci-dessous illustrent les variations qu'on note au niveau des totaux pluviométriques entre l'est et l'ouest, le nord et le sud de la zone littorale:

STATIONS:

SEME	:	1 819	mm pour 80 jours (1961-1970)
POBE	:	1 297	mm pour 112 jours
GRAND POPO	:	800	mm pour 58 jours
APLAHOUE	:	1 156,8	mm pour 73 jours

De ce tableau, il ressort donc que le nord est moins arrosé que le sud, l'est plus arrosé que l'ouest.

Les saisons

D'une façon générale, le régime des pluies détermine les saisons. Ainsi, dans cette zone subéquatoriale où saisons sèches et saisons humides s'alternent, on compte quatre saisons nettement tranchées:

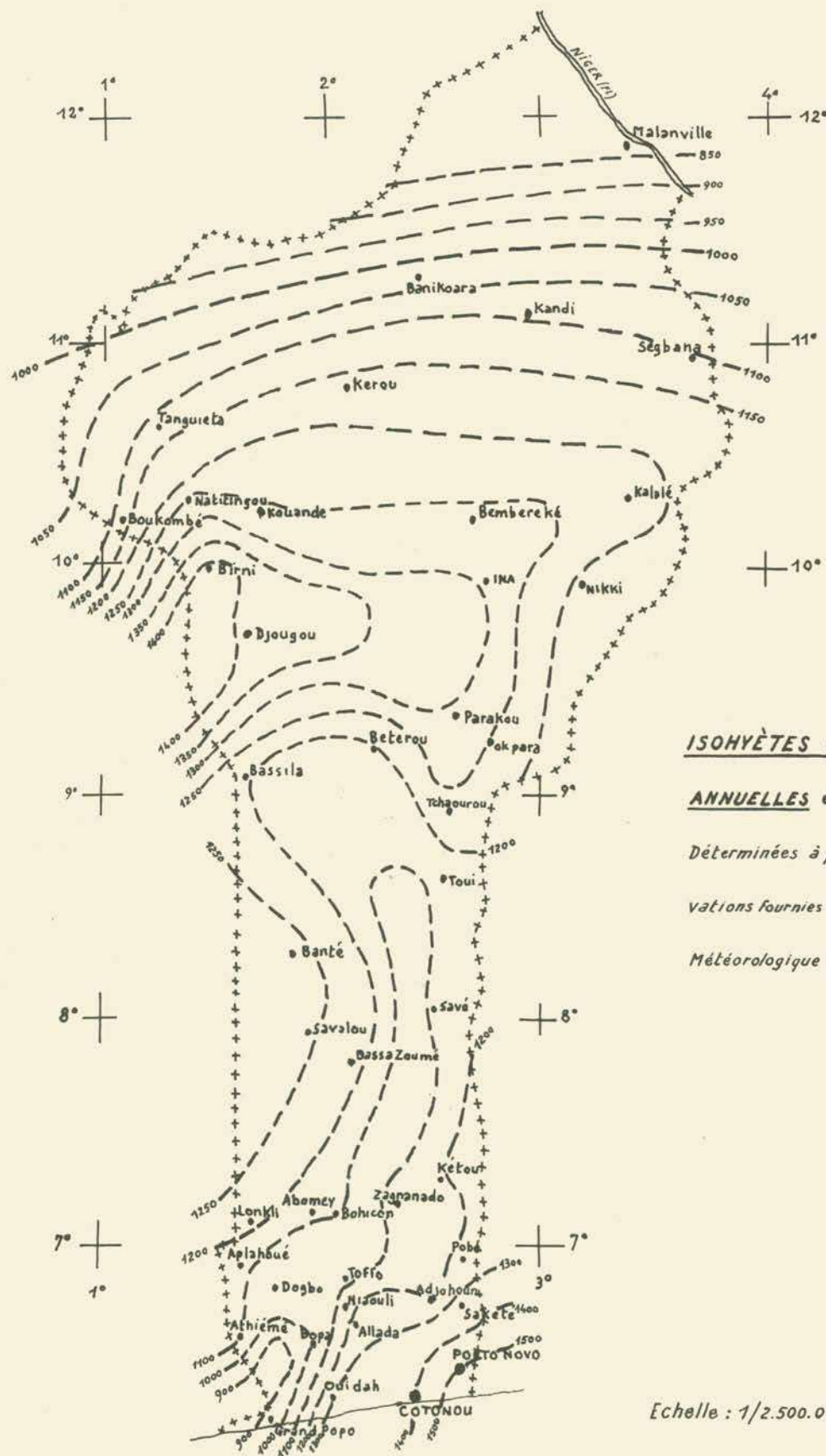
- une grande saison sèche : de novembre à avril
- une grande saison des pluies : d'avril à juillet
- une petite saison sèche : de juillet à septembre
- une petite saison des pluies : de septembre à novembre

2.1.2 Zone septentrionale

A partir de 9° de latitude Nord environ apparaît le climat tropical type ou soudanien. Les relevés météorologiques de trois stations sises dans la zone donnent un aperçu des températures qui prévalent dans la zone septentrionale.

STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

CARTE 1



ISOHYÈTES MOYENNES

ANNUELLES en millimètres.

Déterminées à partir des obser-
vations fournies par le Service
Météorologique du BENIN.

Echelle : 1/2.500.000

TABLEAU 2.1

MOYENNES MENSUELLES DES MAXIMA ET MINIMA DE TEMPERATURES

(en centigrades)

(Source Asecna)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
KANDI	Max	34.9	36.3	38.2	37.6	35.6	32.7	30.4	29.4	30.3	33.7	34.9	34.1
	Min	16.5	19.0	22.8	25.2	24.2	22.6	21.7	21.5	21.2	21.3	17.5	15.5
NATITINGOU	Max	34.0	35.9	36.6	34.8	33.3	30.9	29.0	28.2	29.5	31.8	33.4	34.0
	Min	19.0	20.8	22.4	22.9	22.1	21.1	20.7	20.6	20.5	20.1	18.4	18.4
TCHAUROU	Max	34.5	36.3	36.1	34.4	32.9	30.6	29.0	28.0	29.1	31.0	33.3	34.0
	Min	18.0	20.2	22.0	22.4	21.9	21.2	21.1	20.7	20.6	20.5	19.1	17.7

Les températures moyennes annuelles ne sont pas très élevées. Elles varient entre 26° et 27°. Les températures les plus élevées sont enregistrées en mars et avril, les plus faibles se situent entre décembre et janvier, période au cours de laquelle l'harmattan couvre la zone. A noter que les écarts thermiques annuels sont de plus en plus accentués en allant vers le nord (l'amplitude dépasse parfois 22° à Kandi).

L'humidité de l'air est maximum en saison des pluies et minimum en janvier. Elle peut varier de 15% à 99% suivant les districts et suivant le moment de la journée. L'évapo-transpiration calculée est de 1 500 mm au sud de Parakou et de plus de 1 800 mm au nord à partir de Kandi.

La pluviosité

Les précipitations très abondantes à l'ouest diminuent progressivement vers l'est et surtout vers le nord où la pluviométrie descend à 800 mm. Les plus fortes hauteurs de pluies correspondent d'une façon générale aux parties élevées: régions de l'Atakora, de Bembéréké et de Nikki: 1 400 mm pour la chaîne de l'Atakora, 1 200 mm pour la plaine du Borgou. Plus au nord où s'annonce déjà le climat "soudano-sahélien" ces chiffres tombent à 800 mm ou 900 mm (région du Bassin du Niger).

Les saisons

Deux saisons nettement marquées:

- une saison sèche d'octobre-novembre à mars-avril. Cette saison, très fraîche en décembre-janvier, est très chaude à partir de mars-avril avec un maximum en général en avril, où sous abri le thermomètre indique 38° ;

- une saison pluvieuse ou "hivernage" de mars-avril à octobre-novembre. Le maximum des pluies se situe en août. Cette saison est de plus en plus courte à mesure que l'on avance vers le nord.

Deux types de vents dominants se succèdent au cours de l'année dans la zone: l'alizé maritime et l'harmattan. L'alizé maritime souffle d'avril à novembre en direction sud-ouest, sa vitesse moyenne passe de 3 m/s en avril à 2 m/s pendant la période mai-octobre. Sa vitesse maximum oscille entre 23 m/s et 30 m/s suivant les mois: elle est, par exemple, de 28 m/s en septembre, 30 m/s en mai, 24 m/s en juillet à Kandi.

L'harmattan, vent sec et froid, très desséchant, souffle du nord-est sur toute la partie septentrionale du pays de novembre à mars. Sa vitesse moyenne n'excède pas 2 m/s avec un maximum de 12 à 14 m/s. Durant cette période les températures sont basses, elles descendent à 15° à Kandi.

2.1.3 Zone de transition

Entre $7^{\circ}20$ et 9° de latitude Nord environ règne un climat intermédiaire entre le climat subéquatorial maritime et le climat soudanien. La température moyenne annuelle est de 27° . Le déficit en vapeur d'eau atmosphérique est inférieur à celui de la zone précédente mais supérieur à celui de la zone littorale. L'évapotranspiration est comprise entre 1 400 et 1 500 mm. La pluviosité est marquée par une longue période humide avec le maximum de pluies en août. Elle varie suivant les années de 1 000 et 1 200 mm et est plus prononcée au nord-ouest et au sud-est.

On observe deux grandes saisons, une saison de pluies d'avril à novembre et une saison sèche de novembre à mars. Le fléchissement des pluies en août correspond à l'amorce d'une deuxième saison sèche.

2.2 ROCHES MERES ET SOLS

Les traits caractéristiques de la géologie et de la pédologie béninoises, sont eux aussi le reflet de ce que l'on observe généralement dans l'Ouest africain: prédominance des formations précambriennes, recouvertes par endroits de dépôts sédimentaires récents. Les modèles illustrent bien l'histoire très ancienne de la structure. Il en est de même des sols qui dérivent de la décomposition des roches et du couvert végétal. Ils ressemblent bien à ceux que l'on rencontre dans les pays voisins. Trois grandes régions sont à distinguer: le littoral, le plateau cristallin et le bassin du fleuve Niger.

2.2.1 Le littoral

Ce domaine comprend toute la région allant de la côte à la latitude de Bohicon ($7^{\circ}10'$). Les témoins des différentes invasions marines qu'a connu le Sud-Bénin (comme l'ensemble de la sous-région) au cours des ères géologiques y sont encore visibles.

Les sédiments marins les plus anciens ont été datés du Crétacé-Tertiaire. Ils constituent les formations les plus étendues, puisqu'on les retrouve depuis le nord du Bassin jusqu'à 10 km de Cotonou. Ces sédiments sont constitués principalement de sable avec par endroits des intercalations de calcaire et de phosphates. Leur partie supérieure est argilo-sableuse et connue sous le nom de "Terre de Barre", de couleur rouge. Plus au sud, des cordons littoraux ont pris place. Leur âge décroît au fur et à mesure que l'on s'approche de l'Océan. Ils isolent des lagunes allongées et des lacs.

La partie littorale du Bénin est dominée par les plateaux élaborés par les sédiments anciens. Une grande dépression les fragmente en deux parties: nord-sud; c'est la dépression de Lama, qui se prolonge d'ailleurs au Nigéria et au Togo; plusieurs cours d'eau ont entaillé leur vallée dans ces plateaux: le Mono, le Couffo, le Zou et l'Oueme. L'ensemble du bassin se relève du sud vers le nord (5 m à Cotonou, 94 m à Allada, 164 m à Bohicon), constituant ainsi un véritable relief de côte.

Sur les cordons littoraux récents, prédominent des sols sableux, trop pauvres pour d'autres cultures que le cocotier. Les anciens cordons relativement plus riches portent quelques savanes littorales notamment celles de Lophira, entre Cotonou et Ouidah. Les milieux lagunaires sont recouverts de sols hydromorphes sur lesquels on reconnaît, çà et là, une mangrove.

Les formations ferrugineuses et ferralitiques apparaissent sur la "Terre de Barre". Elles constituent des sols profonds, pauvres en concrétions. Dans la dépression de la Lama, on trouve les argiles noires tropicales, les vertisols. C'est sur ce type de sol hydromorphe que s'est développée la forêt dite "de Lama".

2.2.2 Le plateau cristallin

Ce plateau occupe la plus grande partie du pays de la latitude de Bohicon jusqu'à celle de Kandi ($11^{\circ}10'$). Cette province est celle des roches grenues, consolidées. Il s'agit surtout de roches très anciennes datant généralement du précambrien. On peut y reconnaître les faciès suivants: granites post-tectoniques, grès, gneiss, migmatites, quartzites et micachistes (principalement dans la chaîne de l'Atakora). Ces formations ont été métamorphosées et plissées, puis arasées.

Une pénéplaine s'étend à perte de vue. Elle est faite d'une succession de croupes surbaissées, caractéristiques des plaines soudanaises. Parfois, cette pénéplaine est dominée par des inselbergs; c'est le cas entre Dassa-Zoume et Parakou. Ce sont des reliefs modestes (300 à 400 m) aux versants convexes. La dénivellation la plus importante est due à la chaîne de l'Atakora. Située dans la partie nord-ouest, elle est constituée d'une série de crêtes parallèles culminant à 600 m. Elle seréduit et s'abaisse vers le nord. Constituée de roches très résistantes, notamment des quartzites, cette chaîne se désagrège très peu. L'Atakora est un véritable château d'eau; bien des cours d'eau y ont leur source.

Le plateau cristallin est par excellence le domaine des sols ferrugineux tropicaux qui s'étendent un peu partout. Il s'agit généralement de sols à structure monoparticulaire; on distingue des formations lessivées avec ou sans concrétions, des sols ferrugineux tropicaux indurés. Dans les zones très cultivées, notamment entre 7°30 et 9° de latitude Nord, affleurent largement des formations appauvries, avec ou sans concrétions. On trouve également des cuirasses portant des lithosols. C'est le cas dans la chaîne de l'Atakora, sur les versants des inselbergs et aux environs de Kandi. Des sols hydromorphes ont été cartographiés le long des cours d'eau tels que l'Alibori, la Pendjari, l'Oueme (moyen et supérieur), l'Okpara, etc. Précisons enfin que dans l'ensemble, les formations superficielles sont très épaisses (>10 m) sur ce plateau cristallin, hormis les secteurs montagneux et la zone comprise entre 7°30 et 9° de latitude Nord.

2.2.3 Le bassin du fleuve Niger

Ce bassin est situé dans l'extrémité nord du pays et fait frontière avec la République du Niger. La limite méridionale correspond environ à la latitude de Goungon, village situé à 50 km au sud de Malanville. Ce domaine est celui des influences sahéliennes.

Les formations sédimentaires prédominent, dont les plus anciennes datent du crétacé. Ce sont notamment les grès dits "de Kandi", les conglomérats du crétacé; vers la vallée elle-même affleurent principalement des éluvions sablo-argileuses, et du matériau colluvial issus des grès susmentionnés. Dans la partie occidentale du bassin, on retrouve des formations du précambrien.

Le modelé est généralement plat. L'altitude moyenne avoisine les 200 mètres. Ça et là apparaissent des collines cuirassées qui culminent autour de 270 mètres. Elles sont très nombreuses dans la partie orientale du bassin, près des villages de Garou-Tegui et de Sende. Les deux entailles les plus importantes sont celles constituées par les vallées de la Sota et de l'Alibori. Ce dernier cours d'eau entretient une bande hydromorphe large de 5 à 6 km par endroits. Le Niger lui-même a une zone inondable s'étendant parfois sur 8 km.

Des sols hydromorphes affleurent le long des cours d'eau importants comme l'Alibori et le Niger. Sur les éluvions et le matériau colluvial se sont développés des sols ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétions. Les grès du crétacé portent soit des sols indurés soit des sols lessivés sans concrétions. Les secteurs cuirassés ont des lithosols. Il importe de souligner que les risques d'érosion sont élevés dans la mesure où ce sont des éluvions et des colluvions qui constituent les roches-mères de ces sols, et aussi parce que les précipitations étant faibles, la couverture végétale peu importante ne protège pas entièrement le sol.

2.3 L'ACTION DE L'HOMME

En tentant de reconstituer la végétation naturelle du Bas-Bénin à partir des forêts reliques et des conditions écologiques caractéristiques du milieu naturel, Aubréville (1937) a montré que l'ensemble sud du pays était recouvert par une forêt dense ombrophile. De nos jours, cette belle végétation a, hélas, disparu.

Cette situation n'est pas spécifique au sud; sur toute l'étendue du pays les formations végétales naturelles ont cédé la place, par endroits, soit à des formations secondaires, soit à des sols nus, sous l'action anthropique.

L'agriculture constitue la première grande composante des effets humains sur la végétation. Le système de culture pratiqué au Bénin est l'agriculture itinérante; le paysan défriche un quartier de forêt, rassemble par petits tas les bois morts auxquels il met le feu; dans les régions septentrionales du pays, les feux de brousse remplacent efficacement la hache et le coupe-coupe couramment utilisés au sud.

Après la préparation du terrain, les sols sont soumis pendant une période allant de 4 à 5 ans - tout étant fonction de leur fertilité - à une exploitation intensive. Deux cultures se succèdent chaque année, dans le cas des régions méridionales, la répartition des pluies le permettant. Les terres sont abandonnées aussitôt qu'elles parviennent à épuisement; c'est alors qu'intervient la jachère. Le paysan se lance alors à la conquête de nouvelles terres qu'il défriche et le cycle recommence.

L'exploitation des bois de tous genres répond aux besoins des populations. En effet, le bois entre dans maints usages domestiques. On abat les grands arbres qui servent dans l'ébénisterie, dans la construction lourde, moyenne ou légère, dans le coffrage ou dans la caisserie. Certains bois aux dimensions plus réduites, 5 à 25 cm de diamètre, sont utilisés soit dans leur état (perches, étais, poteaux), soit grossièrement travaillés (chevrons, équarris).

A la campagne comme à la ville, la plupart des ménages utilisent comme combustible du bois provenant des jachères arbustives. Le bois est enfin récolté pour d'autres usages: fabrication de manches d'outils, de tabourets, de mortiers, de pilons, etc.

Activités spécifiques à chaque région

2.3.1 Le Sud (densité moyenne de population: 150 habitants/km²)

La pêche dans les lacs et lagunes du sud et l'industrie artisanale du sel constituent des facteurs de déboisement intensif dans la partie méridionale du Bénin. Pour la pêche, il est né au sein des populations de pêcheurs du Bas-Ouémé une technique de pêche dite des "Acadja". Sa généralisation dans la lagune de Porto-Novo et dans le Lac Nokoue ainsi que dans les autres eaux saumâtres, et surtout sa pratique de plus en plus active, sont à la dimension des résultats spectaculaires qu'elle donne.

Les "Acadja" sont des bois de 1,80 à 2 m de long, avec un diamètre pouvant atteindre 10 cm; ils sont piqués dans le fond vaseux et disposés en rectangles dont les plus grands couvrent jusqu'à 1,5 ha de superficie. Un hectare d'acadja nécessite 2 000 fagots de bois (un fagot est fait de 6 pieds d'arbustes). Cela donne une idée de la quantité de bois nécessaire.

La pratique des "acadja" vise un double but: ils sont un véritable vivier où les poissons trouvent une alimentation de choix sur les branchages qui se couvrent d'algues et de micro-organismes, et les poissons contenus dans les "acadja" sont plus faciles à capturer.

Des sondages faits dans la lagune de Porto-Novo ont montré que les rendements des "acadja" atteignent 10,20 et même 30 tonnes de poissons à l'hectare. On comprend bien alors l'utilité sociale d'une telle pratique.

Le long du littoral, de Cotonou jusqu'à l'embouchure du fleuve Mono se trouvent des villages qui, parallèlement aux activités de pêche, se sont spécialisés dans la fabrication du sel. Le sel est obtenu à partir des sols hydromorphes à forte teneur en chlorure. Ce sol décapé superficiellement est mis dans des paniers. Une technique de lixiviation permet d'en tirer l'eau qui par évaporation donnera du sel. Dans cette fabrication artisanale du sel, les villageois utilisent du bois pris sur la mangrove. Les branchages d'Avicennia et de Rhizophora servent à tresser les paniers dans lesquels est mise la terre salée à lessiver.

Les troncs de ces mêmes bois sont utilisés dans la construction des cabanes où sont gardés les paniers. Enfin, les fagots de ces plantes sont le combustible de choix pour l'évaporation de l'eau salée. Cette dernière opération est celle qui demande le plus de bois et entraîne la dégradation de la mangrove.

2.3.2 Le Centre et le Nord (densité moyenne de population: 20 hab./km²)

Les activités rurales portent sur l'agriculture comme au sud, mais également sur l'élevage du gros bétail. La pratique des feux est plus généralisée ici qu'ailleurs.

A l'image de ce qui a été décrit dans le sud, l'agriculture est itinérante et sur brûlis; cependant le milieu naturel n'est plus exactement le même. Nous sommes sur le plateau cristallin où affleurent des sols à structure monoparticulaire: remués pour les cultures, ils s'érodent et s'appauvrissent plus vite. C'est la raison pour laquelle, entre 7°30 et 8°30 de latitude Nord les sols ferrugineux tropicaux appauvris sont très entendus. On les retrouve également au nord de Parakou.

Un autre fait à signaler est l'importance de la sécheresse. L'évapotranspiration potentielle est supérieure partout à 1 500 mm, elle dépasse même 2 000 mm au nord de Kandi. Cela favorise la remontée des oxydes métalliques du sol et leur précipitation. Il se forme alors progressivement un niveau enduré dans le profil. Une cuirasse stérile apparaît alors. La mise en culture, dans la mesure où elle supprime le couvert végétal, active le processus de stérilisation des sols. Signalons également les cultures sur les versants des reliefs qui provoquent des inondations.

L'élevage est très développé, mais connaît des conditions difficiles à cause du manque d'eau et du fourrage pendant la saison sèche. Les éleveurs sont alors obligés de se déplacer avec leurs bêtes vers des points d'eau lointains; ils ébranchent les arbres à leur passage. Les piétinements, les pâturages aériens, et le surpâturage entraînent une dégradation de la végétation. Dans le bassin du Niger, ces pratiques en association avec l'agriculture ont créé çà et là de véritables "bad-lands".

Chaque année, la majeure partie du couvert végétal, les forêts classées comprises, est soumise aux feux de brousse. Il s'agit d'une pratique très ancienne. La faible densité de population jointe au niveau technique des campagnes expliquent ce phénomène. Dans le sud, à forte densité d'occupation du sol, nulle part on ne signale des feux.

En conclusion, les écosystèmes prévalant au Bénin sont fragiles. Des paysans, utilisant des moyens rudimentaires de mise en valeur arrivent à perturber de manière parfois irréversible les équilibres naturels. Pour remédier à ce processus de dégradation, il convient d'abord de bien connaître l'état actuel du couvert végétal et son évolution.

CHAPITRE 3

PREPARATION DE LA CARTE ECOLOGIQUE DU COUVERT VEGETAL

3.1 CLASSIFICATION DE LA VEGETATION

Dans le document du projet (article 3.01) il est mentionné "...on utilisera les services d'expert-conseil pour la mise au point des classifications à utiliser en collaboration avec l'Unesco...."

L'élaboration d'une classification de la végétation ligneuse a été confiée à l'Unesco en novembre 1975, qui l'a sous-traitée à l'Institut de la Carte Internationale du Tapis Végétal (Toulouse), sous la direction du Professeur Legris.

Entre autres, il a été demandé que la classification soit basée sur des critères physiologiques et qu'elle puisse être rapportée à celles de l'Unesco et de "Yangambi", (Trochain, 1957). Dans l'essentiel la nomenclature de la classification (Rapport final établi conjointement par l'Unesco et la FAO avec l'aide financière de l'UNEP. Projet SC/UNEP 258-132. Méthodologie d'une classification - Application en télédétection) a été celle de Yangambi. Se référant à des critères descriptifs essentiellement physiologiques, elle convient parfaitement aux méthodes et techniques simples comme elles ont été appliquées dans le cadre de ce projet de télédétection et seront mises en oeuvre par les techniciens locaux pour une surveillance continue de l'évolution du couvert de la végétation ligneuse.

Compte tenu de l'importance des facteurs écologiques dans le processus de dégradation et de reconstitution des formations forestières, il a été décidé que le premier niveau de subdivision devrait être d'ordre écologique. La majeure partie de la végétation climatique ayant été remplacée par des formations secondaires, la division en zones écologiques et une distinction entre formations secondaires d'une même physionomie, mais ayant des caractères bien différents (floristique, dynamisme, susceptibilité à l'impact humain).

En plus des critères bioclimatiques et physiographiques, il a été tenu compte des composantes floristiques principales (uniquement ligneuses arborescentes) pour arriver à une délimitation des zones éco-floristiques. Celles-ci ont été présentées sur une carte au 1:5 millionième dans le rapport sur la classification. Les critères et les limites de ces zones éco-floristiques au 1:5 millionième ont été modifiées et précisées pour le Bénin en fonction de l'information recueillie sur le terrain et de la cartographie des formations végétales ainsi que de l'examen des données météorologiques et pédologiques. La synthèse de ces données, présentée en Annexe 2 a permis de délimiter trois zones éco-floristiques.

Ces trois zones ont été toutes caractérisées comme zones de basse altitude, généralement inférieure à 500 m d'altitude. Dans la zone I, zone sèche continentale, la topographie s'élève parfois au-dessus de 600 m, notamment entre Natitingou et Kouandé, en quelques endroits de la chaîne de l'Atakora. Mais cette différence en altitude relativement faible surtout due à l'éloignement de la côte - la chaîne se situe environ entre 10°30' et 11°30' Nord - n'a pas d'influence perceptible ni sur la pluviométrie ni apparemment sur la répartition des essences ligneuses. Du point de vue éco-floristique l'Atakora ne semble donc pas se distinguer de la zone sèche continentale à l'intérieur de laquelle elle se trouve.

Malgré l'étendue de cette zone (carte N°4) les variations pluviométriques sont assez faibles (carte N°1) et la partie correspondant à une pluviométrie supérieure à 1 300 mm est assez restreinte. Sauf pour la partie méridionale, cette zone correspond à la zone guinéenne de Keay (1965) dont les éléments floristiques sont assez homogènes.

Au sud, la pluviométrie légèrement plus faible est compensée par l'hygrométrie plus élevée et le régime équatorial à deux maxima pluviométriques. Les différences floristiques et le caractère plus forestier de cette zone sont largement dus à la présence des sols plus profonds et fertiles dans cette zone sèche littorale.

Entre la zone sèche continentale et le fleuve Niger se trouve la zone soudanienne ("III. Zone très sèche continentale" de la légende de la carte) avec une baisse sensible de la pluviométrie vers le nord et exposée à la pleine influence de l'harmattan.

Bien entendu, un tel zonage basé sur les données de stations météorologiques distribuées irrégulièrement et tenant compte des facteurs globaux du milieu naturel, ne correspond pas entièrement à la réalité. Si l'existence de ces trois zones peut effectivement être constatée sur le terrain, entre l'une et l'autre, il n'en existe pas moins des transitions plus ou moins graduelles et des variations parfois sensibles à l'intérieur des mêmes zones.

Les classes physionomiques de la classification sont applicables sans difficulté aux formations rencontrées, en respectant grosso modo les pourcentages de densité du couvert proposés (Rapport final, p. 75):

- Savane arborée - Couverture ligneuse entre 2 et 20% ^{1/}
- Savane boisée - Couverture ligneuse entre 20 et 50%
- Forêt claire - Couverture ligneuse entre 50 et 80%
- Forêt (dense) - Couverture ligneuse supérieure à 80%

L'utilisation du terme "forêt" dans la légende de la carte du Bénin implique donc une couverture ligneuse au-dessus de 80%, quoiqu'il s'agisse de forêt semi-décidue ou forêt décidue sauf, évidemment, pour les faciès dégradés.

Cependant, suivant en cela la suggestion du Professeur Legris, le terme "forêt dense humide" a été évité étant donné les conditions écologiques marginales pour ces types de forêt au Bénin (voir 2.1.3). Les critères phénologiques ont été retenus seulement pour les forêts (forêt semi-décidue et forêt décidue).

La classification ne fait pas mention des critères relatifs à la hauteur pour distinguer les arbres des arbustes. Une limite de 7 m a été appliquée conformément à celle mentionnée dans la classification de Yangambi (Trochain, 1957).

Bien qu'il ait été prévu initialement de ne représenter sur la carte que de la végétation naturelle, certaines cultures en plantation ont été également incluses à la demande du Directeur national du projet, (palmeraies et cocoteraies de la région littorale par exemple).

^{1/} Une partie de la couverture ligneuse est fréquemment constituée par des arbustes, notamment dans les deux premières classes. La densité des peuplements purement arbustifs varie suivant les caractéristiques du milieu.

3.2 ECHELLE ET LEGENDE DE LA CARTE

3.2.1 Echelle de la carte

Dans le cadre des activités du projet pilote il avait été prévu d'établir pour le Bénin "... une carte à petite échelle de la végétation actuelle sur l'ensemble du pays.." (article 12 de l'Accord entre la FAO et le Gouvernement du Bénin) document dont le Bénin ne disposait pas jusqu'à présent.

Etant donné les possibilités d'interprétation des images Landsat, ainsi que le but de la carte et les moyens disponibles, il a été convenu avec les autorités béninoises d'adopter l'échelle de 1:500 000 ème pour la carte du couvert végétal. Cette carte fournit une vue d'ensemble de la distribution des formations ligneuses (forêts, savanes) et peut servir de point de départ pour les activités ultérieures de surveillance continue de la couverture forestière.

3.2.2 Légende

La légende (Annexe 1) groupe les classes physiologiques selon leur présence dans les différentes zones éco-floristiques. Ces dernières constituent le premier niveau de la classification et la carte est donc intitulée "carte écologique". Les critères des zones éco-floristiques cités dans la légende indiquent les valeurs (altitude, pluviométrie, mois secs) les plus caractéristiques.

La classification (3.1) distingue les formations végétales selon leur physiologie (hauteur, étages, recouvrement du sol) et chaque classe consiste généralement en un type physiologique, parfois plusieurs - savane arborée et savane arbustive, par exemple - si la distinction sur les images spatiales ne se laisse pas faire d'une manière valable partout.

Pour toutes les classes non cultivées, quelques essences d'arbres ou d'arbustes ont été mentionnées, comme il est fait d'habitude pour les cartes phytogéographiques, indiquant les composantes les plus fréquentes ou caractéristiques de chaque type physiologique, et les distinctions floristiques entre les zones éco-floristiques.

3.3 INTERPRETATION DES IMAGES LANDSAT

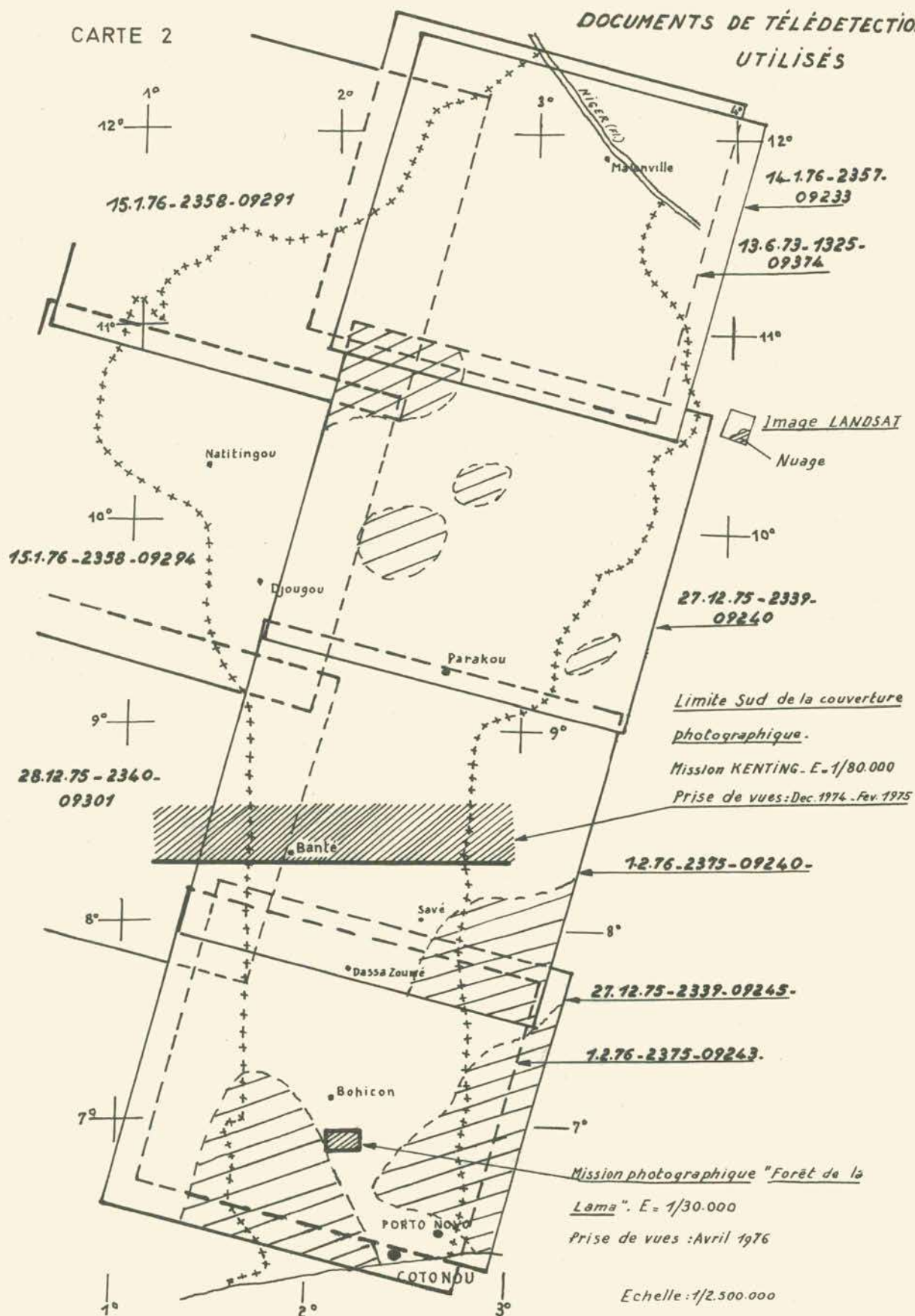
3.3.1 Introduction

La carte a été réalisée principalement à l'aide de la couverture Landsat disponible pour le pays, dont seulement deux scènes sur un total de sept existaient à deux saisons différentes (voir 3.3.2). Il aurait été préférable, voire indispensable, d'avoir pour chaque scène une image pour la saison sèche et une pour la saison des pluies. Les taches de brûlis qui couvrent la plus grande partie des images (parfois entièrement) de la saison sèche ont rendu l'interprétation relativement difficile. De plus, il n'existait aucune couverture spatiale pour l'extrême sud-est du territoire (carte N° 2).

Il est évident que certaines divisions entre types végétaux sont arbitraires du fait que leur transition au sol peut être très vague et constituée par une succession de types intermédiaires. Ceci est le cas, en particulier, entre les savanes du type "guinéen" et du type "soudano-guinéen". Pour d'autres formations les limites sont très précises à cause des

CARTE 2

DOCUMENTS DE TÉLÉDETECTION
UTILISÉS



changements brusques des conditions du milieu et de la physionomie végétale qui en résulte. C'est le cas en général pour les formations forestières, y compris les galeries. En conséquence, il y a aussi une certaine variation de la précision de la carte, d'une part selon la nature des limites sur le terrain, d'autre part selon la qualité des images des différentes parties du pays - définition photographique, densité des diapositives, présence des nuages - ce qui influence les possibilités d'interprétation.

Des relevés et des observations de terrain, parfois incomplètes et la qualité en général médiocre des images Landsat disponibles, particulièrement pour le Sud-Bénin, n'ont pas permis une représentation plus dense des détails sur la carte. On peut estimer cependant que le niveau de détail et de précision réalisé correspond à la meilleure possibilité d'interprétation des images disponibles en fonction de l'échelle employée.

3.3.2 Couverture Landsat

Des parties de sept scènes Landsat couvrent la quasi totalité du territoire béninois (carte N° 2). Pour deux de ces scènes il y avait des images correspondant à deux dates différentes, mais pour une seule ces dates concernaient deux saisons différentes - sèche et pluvieuse - enregistrées à un intervalle de deux ans et demi (figures 1 et 2). Toutes les autres étaient enregistrées en saison sèche dans un intervalle de trois mois environ.

Les scènes utilisées sont les suivantes:

<u>Numéro</u>	<u>Date</u>	<u>Orbite</u>	<u>Rang</u>	<u>% Nuages</u>
2358-09291	1.76	207	52	-
2358-09294	1.76	207	53	-
2340-09301	12.75	207	54	-
1325-09374	6.73	206	52	-
2357-09233	1.76	206	52	-
2399-09240	12.75	206	53	10
2375-09240	2.76	206	54	10
2339-09245	12.75	206	55	40
2375-09243	2.76	206	55	50

D'autres images existent mais sont inutilisables à cause du couvert nuageux et/ou d'une qualité photographique insuffisante.

Pour chaque scène les images ont été obtenues au:

- 1:3 369 000, diapositives noir et blanc en quatre bandes
- 1:1 000 000, diapositives noir et blanc en quatre bandes
- 1:1 000 000, diapositives en couleur, combinaison de bandes 4, 5, 7.
- 1:1 000 000, tirage sur papier noir et blanc, bandes 5 et 7
- 1: 500 000, tirage sur papier de la composition en couleur
- 1: 250 000, tirage sur papier de la composition en couleur

L'identification des types de végétation et d'occupation des sols sur les images Landsat se fait en premier lieu à partir des valeurs de réflectance enregistrées par le capteur multispectral à balayage du satellite dans les quatre canaux et puis transformées en niveaux de gris ou en couleur pour produire les images.

La correspondance entre canaux et longueurs d'ondes (visibles et proche infrarouge) est la suivante:

Canal 4 - 0.5 à 0.6 microns)	visible
Canal 5 - 0.6 à 0.7 microns)	
Canal 6 - 0.7 à 0.8 microns)	proche infrarouge
Canal 7 - 0.8 à 1.1 microns)	

Sur les tirages sur papier en couleur, le canal 4 est imprimé en jaune, le canal 5 en rouge et le canal 7 en bleu, ce qui donne l'apparence caractéristique de ces images - végétation, ou plutôt chlorophylle, en rouge; l'absence de chlorophylle, ou sa dominance par d'autres facteurs, soit en jaune, soit en bleu avec toute une gamme de gradations, selon les conditions au sol au moment de l'enregistrement.

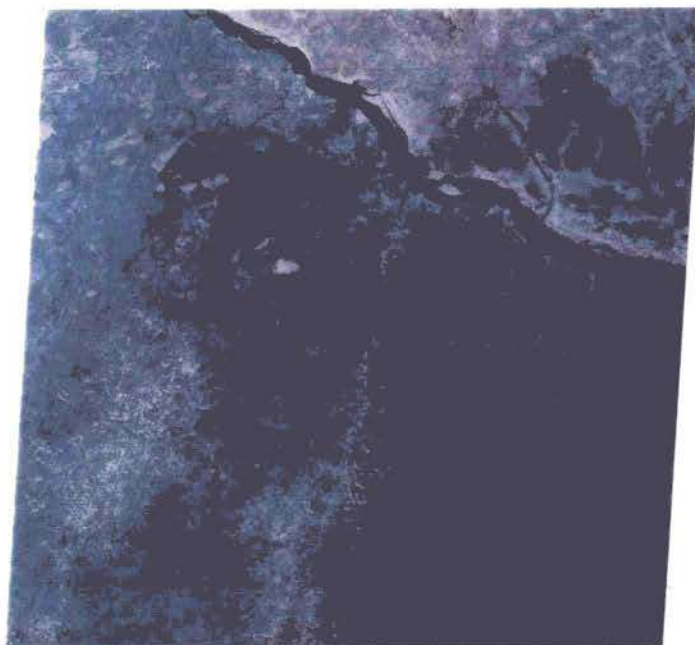


Figure 1. Scène 2357-09233, 14 janvier 1976. Le fleuve Niger à la limite septentrionale du Bénin. En pleine saison sèche, brûlis (bleu) très répandus. Zones intensivement cultivées très nettes (teinte claire); répartition de plusieurs formations végétales à distinguer.



Figure 2. Scène 1325-09374, 13 juin 1973. Même région que celle de la figure 1, en saison des pluies. Définition photographique mauvaise, quelques nuages, répartition des classes moins nettes, mais d'une valeur considérable en combinaison avec la scène de la saison sèche.

3.3.3 Méthode d'interprétation des images Landsat

1. Généralités

Un des objectifs principaux du projet était de définir une méthodologie d'interprétation de la végétation ligneuse à l'aide d'images Landsat et de réaliser la cartographie des formations végétales identifiées.

Elle devait être simple dans son exécution et d'une précision satisfaisante afin d'être appliquée par les spécialistes locaux, préalablement formés à ces techniques, chargés d'exécuter les phases ultérieures de surveillance continue avec le matériel et les instruments dont ils sont dotés.

Il n'est pas possible de lire, et à plus forte raison d'interpréter, les images Landsat sans connaître les principes fondamentaux d'enregistrement du rayonnement réfléchi par les objets au sol, par les capteurs multispectraux à balayage, ainsi que les propriétés des longueurs d'onde des différentes bandes spectrales.

La connaissance des informations que peut apporter chaque canal est nécessaire à l'interprète qui devra tenir compte de la période d'enregistrement et connaître les types de végétation présents dans la zone d'action.

2. Examen des images - zonage

Après les exposés préliminaires au personnel de contrepartie relatifs au mode d'enregistrement, la phase de travaux pratiques a consisté à isoler, sur un support transparent superposé aux images, les taches de tonalité et de structure diverses. La signature spectrale due à la réflectance de la couverture végétale et du sol se traduit dans les différents canaux et la composition colorée par des taches de tonalités variables, suivant la nature des éléments composant les peuplements et la densité du couvert végétal.

Les images disponibles au projet n'ont pas permis l'extrapolation des tonalités d'une scène à l'autre, à cause de la variabilité du traitement photographique pendant la production des images. Ceci est aussi évident à partir des données présentées en annexe 5. Une comparaison des tableaux d'interprétation des scènes 2339-09245 et 2375-09240 montre que le canal 5 a fait paraître Forêt dégradée, Savane boisée et Savane arborée en gris sombre sur la première scène et en gris moyen sur la deuxième. Donc, en général, les images de chaque scène doivent être interprétées indépendamment, bien que les tonalités relatives restent à peu près constantes (par exemple forêt toujours plus sombre que forêt dégradée, en canal 5).

A des plages d'aspect différent dans un canal considéré correspondent des types de végétation ou d'occupation du sol différents que l'on délimite sans les classer sur le calque d'interprétation et qu'il faut ensuite identifier.

D'une manière générale, il faut rechercher toutes les informations concernant le milieu naturel et toutes les données nécessaires à la réalisation de la carte thématique: géologiques, pédologiques, facteurs bio-climatiques et floristiques.

La première phase de l'étude est l'examen des diapositives au 1 millionième des quatre canaux spectraux et de la composition colorée. Ceux-ci sont placés deux par deux, sous un stéréoscope à miroirs, comme l'on place deux photographies aériennes adjacentes.

Les deux clichés, même paysage enregistré dans deux canaux différents, ont le même centre de prise de vues; par conséquent la vision en relief n'est pas possible. Par contre, le stéréoscope permet l'observation binoculaire et le fusionnement des détails communs. Ceci est possible étant donné la parfaite correspondance d'échelle de toutes les images d'une même scène.

Le stéréoscope permet ainsi de superposer chaque canal à tous les autres. Certains détails s'ils apparaissent sur un canal et non sur l'autre sont atténués mais visibles; ils sont au contraire renforcés s'ils sont enregistrés sur les deux canaux. Les tonalités enregistrées par les différents canaux sont aussi fortement adoucies particulièrement lorsque l'on superpose les bandes du spectre visible à celles de l'infrarouge, mais les limites des unités sont plus nettes.

L'observation préliminaire simultanée de tous les canaux deux par deux permet de juger de la qualité des clichés, de connaître l'importance des informations que chacun d'eux peut apporter et de choisir ceux qui serviront de référence pour l'interprétation (voir Annexe 6). On délimite ensuite des plages de même densité. Ceci est également réalisé sous stéréoscope en utilisant les canaux sélectionnés et bien entendu l'image de composition colorée.

Il s'agit d'essayer d'associer la tonalité et la structure de l'unité délimitée sur l'image avec l'aspect physionomique de la formation végétale correspondante sur le terrain. Ceci peut être réalisé à différents niveaux:

- par des reconnaissances aériennes qui apportent des informations sur les types de végétation, leur distribution en fonction des facteurs topographiques et parfois sur les espèces dominantes;
- par l'étude comparative des photographies aériennes et des images satellite;
- par les contrôles du sol qui permettent la vérification de l'interprétation des documents et par des sondages floristiques.

3. Reconnaissances aériennes

Des reconnaissances aériennes sont très utiles pour connaître les types physionomiques et se familiariser avec leur aspect. A partir des cartes existantes et aussi des images Landsat, l'interprète établit un plan de vol passant des secteurs judicieusement choisis en fonction des critères topographiques et écologiques, facteurs de modification dans l'aspect et la composition de la végétation.

Des observations physionomiques, floristiques et sur les types d'occupation du sol, sont faites en permanence à la verticale des lignes de vol - transects - et enregistrées sur des fiches préparées à cet effet.

En fin de vol, au bureau, on reporte sur un calque superposé à une carte généralement à l'échelle de 1:500 000 ème toutes les informations recueillies au cours des reconnaissances (carte N° 4). Le calque portant les contours des zones isolées sur les images est ensuite confronté avec la carte des observations aériennes et, pour les taches situées le long des transects, une première classification peut être faite.

Au cours des vols, des photographies obliques sont prises qui illustrent les différents types physiologiques de la végétation et dont la situation géographique sera connue par les paramètres de vol très régulièrement enregistrés par l'observateur (cap de l'appareil, vitesse, heures d'observation. La procédure détaillée des reconnaissances aériennes est décrite en Annexe 4).

4. Examen comparatif des photographies aériennes et des images Landsat - Etablissement des clés d'interprétation

L'étude des photographies aériennes à axe vertical est une méthode d'approche pour l'interprétation des images enregistrées par satellite. En particulier, lorsque ces documents présentent les mêmes paysages, observés au cours d'une même période caractéristique, il est possible d'établir des correspondances entre les détails homologues préalables aux clés d'interprétation, bien que ceux-ci diffèrent par leur apparence, leur importance, leur tonalité, sur l'un et l'autre document.

Les photographies aériennes examinées sous stéréoscope apportent des informations suffisantes pour l'identification physiologique des formations végétales, par l'estimation de la densité du couvert, la hauteur des strates, l'analyse de la texture. Elles permettent de préparer l'utilisation des images Landsat en vision directe malgré l'impossibilité d'observation du relief et la résolution beaucoup plus faible de ces dernières.

On choisit à l'intérieur d'une scène un certain nombre de sites caractéristiques que l'on étudie à l'aide des photographies aériennes, de préférence celles traversées par un transect lors des survols. On réalise alors sur les photographies aériennes dans les sites sélectionnés une interprétation simple à partir de la classification des formations végétales et des types d'occupation du sol préalablement établie.

Après avoir interprété les photographies aériennes correspondant aux sites choisis pour chaque scène couvrant la zone d'étude, on établit un tableau de comparaison pour chaque image et canal qui servira de clé d'interprétation (Annexe 5).

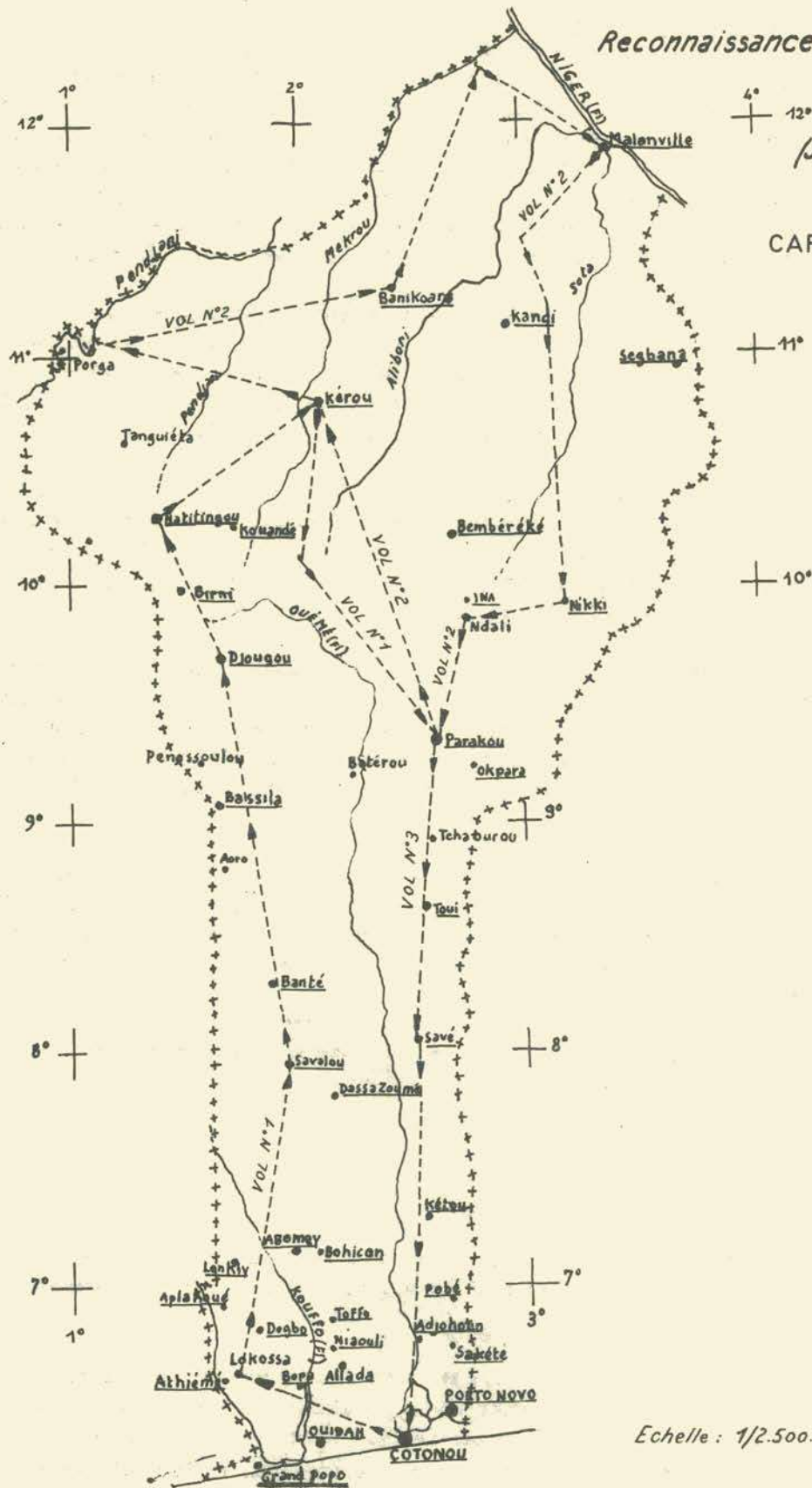
Avant de poursuivre l'interprétation des images par extrapolation des informations obtenues par l'examen des photographies aériennes, il est indispensable de contrôler sur le terrain le résultat de la photo-interprétation en le confrontant avec les formations homologues au sol; dans le même temps, on effectue des sondages floristiques dans les formations étudiées. Les photographies aériennes doivent être, bien entendu, emmenées sur le terrain par l'opérateur, ainsi que les images de composition colorée auxquelles on superpose une grille de repèrement.

Les clés d'interprétation sont ensuite complétées et l'interprétation exhaustive des images peut être entreprise. Chaque scène doit être l'objet d'une interprétation particulière. Les compositions colorées ne sont pas comparables entre elles du fait de la diversité dans le rendu des couleurs pour des formations analogues, due au manque d'homogénéité du traitement photographique.

OBSERVATION PHYSIONOMIQUE DE LA VÉGÉTATION

Reconnaitances aériennes
effectuées
(Juillet 1978)

CARTE 3



Echelle : 1/2.500.000

5. Calque d'interprétation

Les opérations décrites ci-dessus sont exécutées sur un film transparent superposé à l'image à interpréter. Le support choisi doit être d'excellente qualité, parfaitement transparent pour permettre l'analyse des tonalités et des textures de tous les détails de l'image et posséder une très bonne stabilité dimensionnelle. Les films plastiques "polyester" et "astrafoil", lisses deux faces, de 80 microns d'épaisseur utilisés répondent à ces impératifs. On repère le film en traçant à l'encre les coins de l'image et les amorces des méridiens et parallèles que l'on chiffre. L'on porte également les références de la scène.

Afin de s'assurer que les taches de l'image de composition colorée sur le tirage papier au 1:500 000 ème, généralement de faible définition et aux contrastes peu marqués, sont significatives, il est nécessaire de les comparer avec leurs homologues des diapositives des quatre canaux et de la composition colorée. L'observation est effectuée à la table lumineuse simultanément sur deux diapositives de canal différent et sous stéréoscope.

Lorsque l'on veut interpréter les diapositives à l'échelle de 1:1 millionième, le film est placé comme nous l'avons dit sur la restitution du canal 5 ou 7 suivant leur qualité. Le canal de base est observé simultanément avec un autre canal. Tous les canaux sont ainsi comparés. L'interprétation définitive est réalisée avec les canaux qui apportent le maximum d'informations certaines pour la scène considérée.

Les calques d'interprétation des photographies aériennes et des images Landsat qui doivent servir ensuite à des réalisations cartographiques, ainsi que les films employés pour ces dernières, exigent une bonne précision. Dans des conditions de climat tropical - chaleur accompagnée d'une forte humidité, ou sécheresse prononcée selon la saison - le papier et même les supports plastiques transparents manifestent souvent un manque de stabilité dimensionnelle.

Ainsi il a été constaté au cours du projet qu'un film Astrafoil de 20 microns d'épaisseur (0.02), au format d'une feuille de 40 x 40 cm, a varié en un jour de $\pm 1,5$ à 3 mm au format d'une feuille de 60 x 60 cm. Cependant, des films plus épais, Astrafoil et autres de 50 ou 80 microns, ont montré une stabilité tout à fait satisfaisante.

Le calque d'interprétation est terminé lorsque le numéro code des différentes unités physiologiques identifiées est inscrit à l'intérieur des contours et que les raccords sont assurés avec les images adjacentes.

3.4 REPORT ET CARTOGRAPHIE

3.4.1 Report

Cette opération a pour but de transférer sur un seul document en forme de support stable, film polyester par exemple, le dessin des limites des formations végétales des calques d'interprétation des images.

On superpose le support transparent à une carte existante, théoriquement de même échelle que les images, sur lequel on trace les croisillons des méridiens et parallèles toutes les 30 minutes. On place ensuite sous le film chaque calque d'interprétation en faisant correspondre le méridien et le parallèle central du calque avec le méridien

et le parallèle correspondants du support transparent. On fixe le calque et le film et l'on trace sur ce dernier les contours des détails interprétés.

Cependant à cause des variations normalement rencontrées entre l'échelle d'une carte topographique et d'une image et des déformations géométriques des images, il y a en général un écartement des détails sur ces deux documents. Mais en travaillant progressivement sur les surfaces restreintes pendant l'opération du report, il est parfaitement possible de poser les détails de l'image par rapport aux détails homologues du fond de carte.

Les tirages papier des cartes topographiques non seulement varient dimensionnellement d'une manière sensible mais portent, en noir et en couleurs, de nombreux détails et symboles qui les rendent difficilement lisibles par transparence. En outre, la représentation de la végétation sur ces cartes, résultant de l'interprétation photographique, n'obéissant pas aux mêmes critères appliqués pour la réalisation de la carte du couvert végétal, peut prêter à confusion.

Des cartes sur film stalbe, correspondant aux coupures au 1:500 000 ème couvrant le territoire, établies à partir des planches-mères ayant servi à l'édition des cartes I.G.N., ont été utilisées comme documents de base. Les planches représentant l'hydrographie, l'orographie et la planimétrie ont été superposées et photographiées sur film pour produire un fond cartographique, sans représentation de végétation, pour guider le report de l'interprétation des images Landsat.

On réalise tout d'abord l'assemblage des films issus des planches-mères en coupures de formats maniables, compte tenu de l'importance de la région à représenter. L'assemblage est disposé sur une feuille de papier canson blanc et fixé sur une table plane. On lui superpose un film polyester, qui servira au report, sur lequel on porte par transparence les croisillons des méridiens et parallèles toutes les 30 minutes.

On soulève le film polyester en le maintenant fixé à l'assemblage sur deux côtés. On présente le premier calque d'interprétation sur le fond de carte en s'efforçant de faire correspondre des détails homologues. Les détails choisis doivent être identifiés avec certitude, être de préférence des points du relief, confluent de rivières, méandre caractéristique d'un cours d'eau important, ou de la planimétrie telles que les agglomérations importantes et les lieux de franchissement des rivières par les routes si elles sont identifiables sur les images.

Comme on l'a fait remarquer, la correspondance avec tous les détails identifiés sur l'image n'est pas réalisable. Lorsque l'on choisit un point commun de la carte et du centre de l'image, les discordances entre des points situés en limite de la scène peuvent atteindre 4 à 5 mm (2 km à 2,5 km). Il est alors nécessaire d'exécuter le report par la méthode des facettes.

On s'efforce de faire correspondre les détails caractéristiques (rivières, villes, etc..) d'une petite zone du calque d'interprétation avec leurs homologues de la carte. Lorsque cette correspondance est réalisée, on fixe le calque sur le fond de carte, l'on rabat le film polyester destiné au report, - les croisillons repères doivent se superposer exactement à ceux du fond de carte - et l'on dessine par transparence les contours des détails situés à l'intérieur de la première facette.

Le report s'effectue ensuite par facettes successives jusqu'à couvrir la tonalité de la scène. L'importance de la facette est fonction des détails homologues à la carte qu'elle contient. Si les points communs sont peu nombreux ses dimensions seront grandes; dans ce cas les discordances inévitables seront compensées en répartissant équitablement les erreurs graphiques par de petits déplacements du calque d'interprétation.

Il est important que le film de report soit toujours en parfaite correspondance avec le fond de carte car les lignes principales du relief et parfois de la planimétrie doivent figurer avec une position géographique exacte sur la carte thématique de même que certains détails interprétés - galeries forestières, zones inondables, formations montagnardes doivent avoir une situation topographique précise. La correspondance satisfaisante des points caractéristiques du calque et du fond de carte, sur lesquels s'appuie le report, permet d'obtenir une bonne précision relative dans le positionnement des détails cartographiés.

3.4.2 Etablissement de la maquette

Avant la réalisation définitive de la carte thématique par le dessinateur, on établit une maquette qui est le document complémentaire indispensable à la carte du trait exécutée par l'interprète. C'est elle qui porte toutes les informations nécessaires pour une représentation définitive: trames, symboles, couleurs, légende, titre.

On établit la maquette sur un tirage papier - ozalid par exemple - obtenu à partir du film portant le dessin du trait qui, à ce stade, n'est que la représentation des contours des unités physiologiques résultant de l'interprétation des images Landsat. On porte à l'intérieur de celles-ci le numéro code des formations qui correspondent à la légende en pochant d'une couleur conventionnelle les formations végétales cartographiées.

On inscrit le titre de la carte et on joint la légende en encadrant sur la maquette son emplacement souhaitable. La maquette ainsi préparée est remise au dessinateur, avec calques et cartes se raccordant à la région étudiée, pour la rédaction définitive.

3.5 PRECISION DE LA CARTOGRAPHIE

Comme il a été mentionné au point 3.3.1, il y a une certaine variation en ce qui concerne la précision de la cartographie des différentes formations en fonction de leurs limites naturelles, de leur apparence sur les images et de la qualité des images interprétées.

Les limites des massifs forestiers et des galeries sont en général assez nettes au sol et sur les images et se distinguent bien des autres formations. Donc leur délimitation sur la carte est d'une précision relativement bonne. Les savanes, au contraire, ont des limites peu nettes au sol et, sur les images de la saison sèche, sont souvent peu distinctes. Leur délimitation sur la carte est donc en général moins précise. Les limites des zones éco-floristiques ne figurent pas sur la carte mais sont indiquées en fonction de la répartition des classes qui les représentent. Dans plusieurs cas, une formation physiologique sur la carte a été répartie entre deux zones éco-floristiques et donc en deux classes séparées par une limite et figurant dans deux couleurs différentes.

Les zones éco-floristiques représentent des généralisations à partir d'une gamme de données - climatique, topographique, pédologique, floristique - et en tant que telles ont rarement des limites bien définies sur le terrain mais plutôt des transitions de l'une à l'autre. Lorsqu'elles sont délimitées sur une carte, c'est donc généralement à titre indicatif. Telles limites sur la carte, à l'intérieur d'une classe physionomique, par exemple entre classes 3 et 21, toutes les deux savanes arborées et arbustives, n'ont donc pas la même précision que celles des classes physionomiques.

De plus, comme il a été mentionné en 3.4, la légère déformation géométrique des images par rapport au fond cartographique exige des ajustements spatiaux au cours des activités de repert, qui entraînent ainsi certaines imprécisions. Enfin, pour les régions où il y avait des images à deux saisons, l'identification et la délimitation des formations sont en général plus précises qu'ailleurs. Cependant, les facteurs considérés ci-dessus concernant la précision relative de la carte. Etant donné les contrôles de terrain effectués, l'utilisation des photographies aériennes et le mode de travail adopté (3.3), il est peu probable que de grosses erreurs soient à constater sur la carte, relatives à la classification et à l'échelle employées.

CHAPITRE 4

CLASSES DE VEGETATION CARTOGRAPHIEES

4.1 SURFACE ET DYNAMISME DES FORMATIONS CARTOGRAPHIEES

Il y a plus de quarante ans que Aubréville (1937) a constaté que les forêts littorales du Bénin avaient quasi totalement disparu depuis longtemps. Il a également observé que le défrichement des derniers peuplements était encore en train, ainsi que la réduction des flots forestiers de la zone guinéenne (zone I de la légende).

C'est la raison pour laquelle seulement quelques 630 km² de forêt figurent sur la carte (tableau 4.1) y compris plus de 100 km² de galeries forestières importantes. A part ces dernières, la plupart des massifs restants est dégradée et d'une superficie restreinte. La forêt de la Lama, dans la zone littorale, est un des peu peuplements encore d'une étendue relativement importante, d'une surface de quelques 10 000 ha. Selon le rapport de l'inventaire de cette forêt (Marsch, 1978, p.8) de 100 à 150 ha par an ont été défrichés pendant les derniers vingt ans. Bien que peu rapide, la tendance à enlever les derniers vestiges de la forêt se manifeste toujours.

La conclusion qu'il existe une surexploitation et donc une dégradation très répandue de la végétation ligneuse, est à tirer du fait que la superficie des formations plus denses - forêt claire, savane boisée - ne s'élève qu'à 11% de la surface totale (tableau 4.1), tandis que les formations ouvertes - savane arborée, savane arbustive - couvrent 53% du pays. Cette conclusion est pleinement soutenue par les résultats de l'analyse des changements subis par le couvert végétal dans les zones d'étude (5.3).

Donc les résultats fournis par les travaux du projet confirment qu'au Bénin l'appauvrissement du couvert de la végétation ligneuse est avancé et toujours actif. Bien que les reboisements soient d'une grande valeur, ils sont nécessairement localisés. Pour faire face au problème sur l'ensemble du pays, une solution intéressante est de laisser jouer la vigueur de la végétation naturelle, qui se laisse voir par la reconstitution des peuplements sur les jachères par exemple. La poursuite des études de l'évolution du couvert végétal ainsi qu'une surveillance continue dans les zones les plus menacées servira à fournir des données pour un aménagement en vue de permettre la reconstitution naturelle de la végétation ligneuse.

4.2 ERREUR D'ESTIMATION DES SURFACES

L'erreur d'estimation des surfaces due à la méthode employée (comptage des points d'une grille) varie selon la superficie et la forme des surfaces mesurées. Il peut arriver que des surfaces relativement petites, telles que des teckeraies ou des flots forestiers, soient omises du fait qu'aucun point de la grille ne leur correspond. Il est à noter, cependant, que l'estimation de la surface des teckeraies - 68,75 km² - est assez proche du chiffre de 70 km² cité dans le rapport du projet de développement forestier (FO:DP/BEN:73/014, Cotonou, 1977). Pour les grandes superficies des classes de savanes et cultures, où les surfaces des taches composantes sont aussi assez grandes pour la plupart, on peut penser que l'erreur d'estimation se situe entre moins de 1% et 5%, au seuil de probabilité de 95%.

TABEAU 4.1

SUPERFICIE DES FORMATIONS VEGETALES ET TYPES
D'OCCUPATION DU SOL CARTOGRAPHIES
AU BENIN

Estimation de la superficie des formations végétales et de l'occupation du sol pour l'ensemble du Bénin. L'évaluation a été réalisée à l'aide d'une grille de points alignés à maille carrée de 5 mm de côté superposée à la carte à l'échelle de 1:500 000 ème établie par interprétation des images Landsat.

Classe	Formation	km ²	%	Observations
1.5.8.14.23	Forêt semi-décidue et décidue y inclus galeries forestières importantes.	631,25	0,55	Forêt de la Lama 56,25 km ² Galeries de la Pendjari 112,50 km ²
2.9.20	Forêt claire et savane boisée	12 743,75	11,13	
3.10.21	Savane arborée et arbustive	60 956,25	53,26	
6.24	Savane arborée et arbustive saxicole	2 350,00	2,05	
7.15.16. 25	Savane boisée, arborée et arbustive, périodiquement inondée. Formations riveraines et marécageuses	1 625,00	1,43	
4.12.13.22	Savane cultivée	28 706,25		
11.18	Culture sous palmiers et palmeraies	6 475,00	30,84	
17	Teckeraies	68,75		
19	Plantations de cocotiers	118,75		
	Sol nu (sans végétation)	456,25	0,40	
	Eaux	325,00	0,28	Lac Nokoué 187,5 km ² ; Lac Ahémé 75 km ²
	Agglomérations importantes	68,75	0,06	Cotonou, Porto Novo, Parakou, Ouidah.
	Total	114 456,25	100,00	

Seules les galeries forestières importantes ont été estimées et incorporées à la formation "Forêt". La superficie totale (114 456,25 km²) correspond à la somme des surfaces estimées sur la carte.

4.3 DESCRIPTION DES FORMATIONS CARTOGRAPHIÉES

Forêt semi-décidue (classes 1, 2)

Cette formation qui a largement disparu au Bénin est représentée dans la zone sèche littorale par la forêt de Lama. Elle occupe une petite zone dans la dépression du même nom, sans relief et mal drainée, en "Terres de Barre" argileuses, noirâtres, inondées en saison des pluies, craquelées en saison sèche. Des boqueteaux, forêts fétiches pour la plupart, subsistent çà et là, mais sont de trop petites dimensions pour être cartographiés.

C'est une formation pluristrate de hauteur moyenne. L'étage supérieur très ouvert domine une strate intermédiaire au couvert fermé. On note la présence de Triplochiton scleroxylon, Antiaris africana, Chlorophora excelsa, Azelia africana et Ceiba pentandra, essences caractéristiques de la forêt semi-décidue. L'on trouve en abondance Diospyros mespiliformis; Mimusops andongensis et Anogeissus leiocarpus sont moins nombreux et irrégulièrement répartis. Ces dernières espèces, comme celles composant l'étage moyen et les arbustes du sous-bois, ont un caractère nettement sempervirent.

En saison sèche continentale, au centre-ouest du Bénin entre Savalou et Djougou, région où il tombe en moyenne plus de 1 300 mm de pluie par an, on remarque de nombreux petits massifs de forêt. Ces flots forestiers qui se présentent comme des vestiges d'une forêt très ancienne sont généralement situés sur des crêtes peu élevées et abritent bien souvent un village.

Ces massifs ont un aspect semblable à celui de la forêt des zones plus humides: formation dense pluristrate, à couvert fermé. Les cimes de l'étage dominant sont bien développées et certaines espèces ne se retrouvent pas dans la savane environnante. Un grand nombre de ces flots est fortement dégradé par les cultures et les feux qui les pénètrent chaque année un peu plus.

Des sondages ont été faits par le projet dans deux flots forestiers les plus au nord, à Soubroukou et à Soro respectivement au sud-ouest et au sud-est de Djougou. Le village est à l'intérieur des massifs forestiers eux-mêmes entourés par les cultures.

Il a été noté la présence de nombreux Antiaris africana, celle assez importante de Celtis zenkeri, Holoptelea grandis, Chlorophora excelsa, Cola gigantea et Bosqueia angolensis, celui-ci très peu abondant.

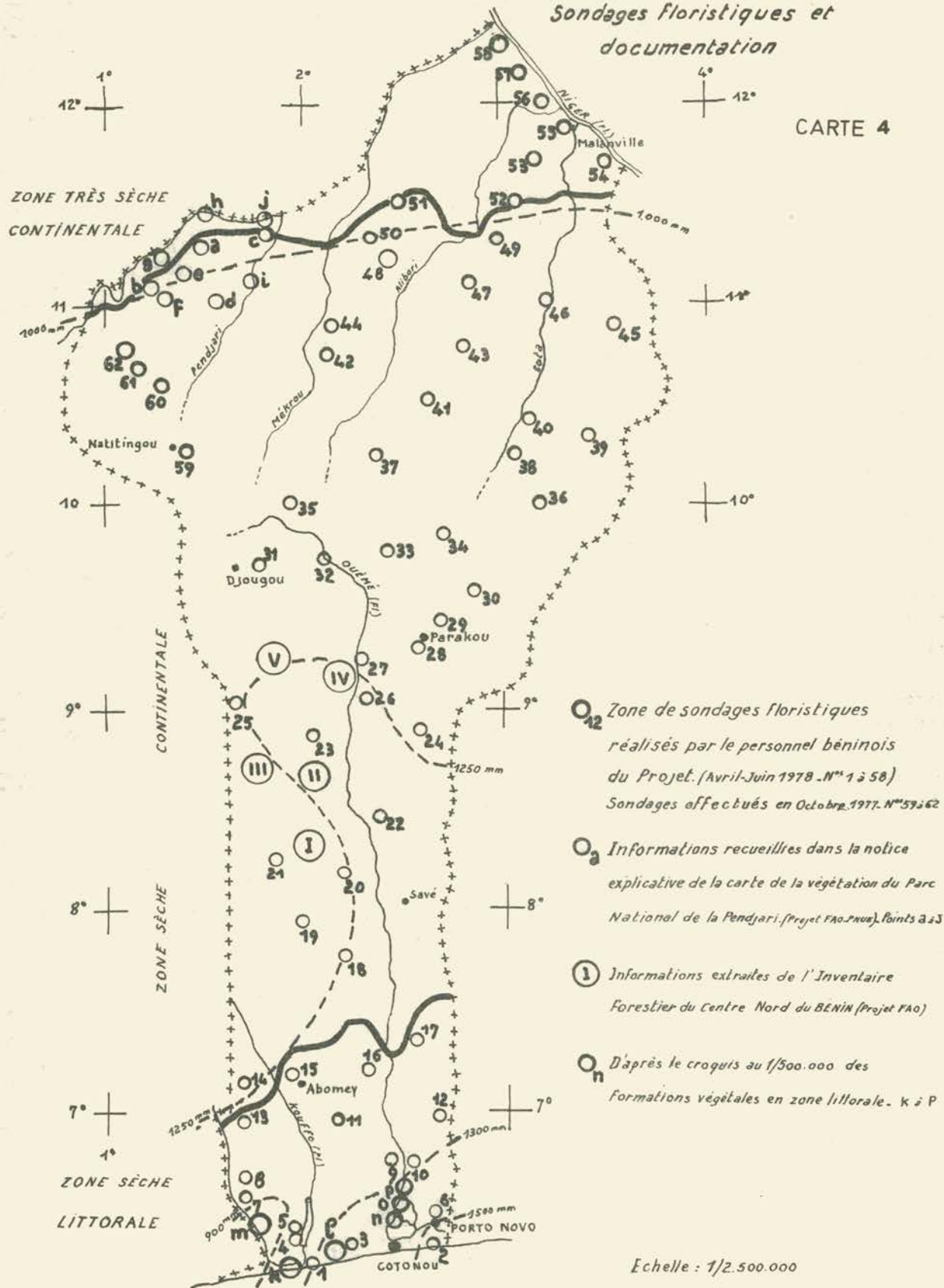
Alors que l'on remarque de nombreux jeunes sujets, indices de régénération, au centre du massif où le couvert est fermé ainsi qu'un sous-bois arbustif sempervirent généralement clair, on observe une forte dégradation vers la périphérie: peu de grands arbres, trouées importantes dans le couvert, taches herbeuses au sol.

Dans d'autres flots forestiers près de Bassila les mêmes essences se rencontrent auxquelles s'ajoutent parfois Triplochiton scleroxylon et Ceiba pentandra. Ce dernier est assez bien représenté mais il semble que l'on se trouve à la limite de son aire d'expansion car il n'a pas été trouvé dans les massifs forestiers de Soubroukou et Soro.

CLASSIFICATION de la VÉGÉTATION:

Sondages floristiques et documentation

CARTE 4



Teckeraies: ces formations décidues ont toutes été plantées et ne se rencontrent qu'en zone sèche littorale. La plantation d'Agrikey a été identifiée sur les images Landsat. Les teckeraies de Djigbe et Lama occultées par les nuages ont été positionnées sur la carte à l'aide des documents consultés.

Formations forestières édaphiques

Galeries forestières (classes 5, 14, 23)

Ces peuplements forestiers s'étendent sur des largeurs variables de part et d'autre des cours d'eau, se détachant nettement par leur forme linéaire et leur densité des formations arborées et herbeuses qu'ils sillonnent.

Ils se rencontrent dans les trois zones éco-floristiques mais, dépendant de facteurs édaphiques dissemblables, ils se présentent sous des aspects différents par la hauteur des arbres, le développement de leurs cimes, la densité de leur couvert, leur composition floristique.

En zone sèche littorale les galeries sont de faible largeur et peu nombreuses. On trouve généralement un mélange des espèces de forêt semi-décidue telles que Ceiba pentandra, Cola cordifolia et des essences de savane, Daniellia oliveri, Parkia biglobosa, Vitex domiana avec bien souvent une forte présence d'Elaeis guineensis.

Un sondage effectué par le projet dans une galerie dégradée de la vallée du Mono, près d'Athiémé a permis de noter la présence de Ceiba pentandra, Chlorophora excelsa, Elaeis guineensis et Adansonia digitata (Baobab).

En zone sèche continentale, les galeries forestières sont généralement plus denses et plus belles bien que certaines soient fortement dégradées par l'action anthropique. Dans la partie ouest du Bénin, entre Savalou et Djougou, région où la pluviométrie moyenne annuelle dépasse 1 300 mm, les galeries sont bien développées, constituées de quelques grandes essences de la forêt primitive et d'espèces de savane.

Des sondages effectués par le projet dans la zone Bassila-Beterou dans la réserve forestière des Monts Kouffe et à l'est de l'Ouémé au nord de Save, mettent en évidence la bonne densité de Khaya senegalensis et d'Antiaris africana régulièrement répartis. Cordia cordifolia et Chlorophora excelsa ont seulement été rencontrés à Beterou et dans les Monts Kouffe. Anogeissus leiocarpus, Isobertinia doka, Lannea kerstingii, Syzygium guineensis, Vitex domiana sont présents mais irrégulièrement répartis dans la zone prospectée.

Un autre sondage réalisé au nord de la zone sèche continentale sur la rivière Souedarou, affluent de l'Alibori, entre Bembereke et Kerou, indique encore la présence de nombreux Khaya senegalensis. Azelia africana et Pterocarpus erinaceus sont ensuite les espèces les mieux représentées. Sur un autre affluent de l'Alibori au sud de Banikoara on note, outre les essences précitées, la présence de Diospyros mespiliformis et d'Anogeissus leiocarpus.



Figure 3. Exploitation d'un chablis dans un flot de forêt semi-décidue dégradée près de Djougou. Classe 1.



Figure 4. Ilot de forêt semi-décidue dégradée. Région de Serou. Classe 1.

Au nord-ouest de cette zone dans les galeries denses de la Pendjari et de ses principaux affluents, on relève la présence de Pterocarpus santaloïdes, Syzygium guineensis, Parinari congensis, Cola laurifolia. Dans une galerie forestière occupant le fond d'une vallée encaissée dans le massif de l'Atakora à l'est de Tangueta, on a principalement remarqué Khaya senegalensis, Anogeissus sp., Diospyros mespiliformis, Ficus spp., Parkia sp., Nauclea latifolia, essences apparaissant comme les plus nombreuses dans ce peuplement.

En zone très sèche continentale (à pluviométrie ne dépassant pas annuellement 1 000 mm) au nord-ouest de Malanville dans les vallées du bassin de l'Alibori, on remarque encore la bonne fréquence de Khaya senegalensis et de Diospyros mespiliformis. Anogeissus leiocarpus est souvent l'espèce la mieux représentée. D'autres essences, Ficus capensis, Manilkara multinervis assez nombreuses semblent aussi caractériser ces formations. On les retrouve le long de la rivière Sota et de ses affluents où réapparaît Pterocarpus santaloïdes.

Formations saxicoles (classes 6, 24)

Cette appellation s'applique à la végétation ligneuse installée sur les affleurements rocheux, les inselbergs et les petites chaînes granitiques situées en zone sèche continentale comme à celle qui occupe les plateaux gréseux de la zone très sèche continentale.

Généralement, les affleurements et les flots rocheux sont colonisés par les essences de la savane qui les entourent. Les formations sont toujours très claires, les arbres sont peu développés, les arbustes sont assez nombreux et la couverture graminéenne est discontinue.

Le massif de Savalou, où un sondage a été effectué, est occupé par une formation arborée très ouverte où dominent Butyrospermum paradoxum, Isoberlinia doka, ainsi que Lophira lanceolata.

Des escarpements rocheux, situés à Mamdekali au sud du confluent Mekrou - Niger en zone très sèche ont fait l'objet d'un sondage. On y a trouvé, outre des espèces de la savane environnante, Bombeya quinqueseta, Gardenia ternifolia, Bridelia ferruginea. Plus au sud, sur la rive droite de l'Alibori certains plateaux sont parsemés d'Adansonia digitata (Baobab).

Zones périodiquement inondées (classes 7, 15, 25)

Cette appellation se rapporte aux formations végétales qui par leur situation topographique, bas-fonds, dépressions le long des cours d'eau et les abords des étangs et des lacs, sont inondées une partie de l'année. On les rencontre le long de nombreuses rivières mais s'étendant bien souvent sur de faibles superficies. Seules les plus importantes ont été cartographiées.

Dans la zone sèche littorale, elles se situent principalement dans le cours inférieur des vallées de l'Ouémé, Zou, Kouffo, Mono. C'est le cas de petits flots de forêt dégradée des vallées du Mono et de l'Ouémé. Certaines espèces sont fréquemment présentes dans ces formations riveraines et peuvent les caractériser comme Pterocarpus santaloïdes et Dialium guineense, que l'on rencontre aussi en galeries forestières mais qui se développent particulièrement sur les berges des fleuves Mono, Kouffo, Ouémé. Des petites savanes bordant ces rivières et inondées temporairement sont caractérisées par la présence de Mitragyna inermis.

De basses plaines inondables couvertes de savanes boisées et arborées bordent certains cours d'eau en zone sèche continentale. Les plus importantes se situent dans le nord-ouest de la zone sur quelques sections de la Pendjari et de ses affluents principaux dont la vallée du Podiega, où les espèces les plus fréquentes sont Anogeissus leiocarpus, Grossopteryx febrifuga, Acacia sieberiana ainsi que Terminalia macroptera qui occupe généralement les limites de la zone inondable.

Un sondage réalisé dans le lit d'inondation (600 mètres de large) de la rivière Magou entre Tanguieta et Bassari a permis de distinguer Terminalia glaucescens, Terminalia macroptera, Acacia senegalensis et deux espèces arbustives Acacia sieberiana et surtout Mitragyna inermis particulièrement abondant.

En zone très sèche continentale les rives de la Pendjari sont bordées de dépressions et de terrains plats mal drainés inondés en période de crue de la rivière. On y trouve Acacia sieberiana sous la forme arborescente (12 mètres de hauteur) et Acacia seyal (hauteur variant de 3 à 9 mètres environ). L'un et l'autre sont parfois groupés et constituent des flots de peuplements presque purs. On rencontre aussi Tamarindus indica, Anogeissus leiocarpus et Balanites aegyptiaca.

La vallée d'inondation du Niger s'étend par endroits à partir du lit mineur sur plusieurs kilomètres. Elle a un micro-relief constitué de dépressions et de bombements les unes parfois transformées en rizières, les autres supportant des cultures vivrières.

On y trouve les arbustes des zones inondables en groupements très clairsemés. Des observations faites entre Malanville et la rivière Mekrou ont permis de noter la présence des arbustes épineux suivants: Ziziphus spinachristi, Acacia pennata, Acacia macrostachya et Balanites aegyptiaca.

On rencontre également de nombreux Borassus aethiophum (rôniers) sur les bombements, parfois en peuplements domestiqués comme dans les régions de Malanville et Kargui.

Formations herbeuses et arbustives marécageuses (classe 16)

Sous cette appellation sont groupées les zones marécageuses dont les sols restent spongieux et humides après le retrait des eaux, en saison sèche. Elles se situent en zone sèche littorale dans le cours inférieur des rivières, entre les lacs du sud et le rivage et dans les bras lagunaires.

Une partie de la vallée de l'Oué mé dans son cours inférieur, au nord du lac Nokoue, est couverte sur de grandes surfaces par des groupements herbeux à Echinochloa pyramidalis.

Dans la partie sud-ouest de la vallée de l'Oué mé au nord de Ganvie les sols marécageux sont occupés par divers arbustes en mélange avec Raphia gigantea installés en limite avec la terre ferme, auxquels succèdent une zone herbeuse constituée de Paspalum vaginatum qui se développe en milieux saumâtres et qui parsème la périphérie nord du lac Nokoue en de petits flots, très peu denses lorsqu'on les a survolés en juillet 1978. Cette même formation herbeuse occupe également le cours inférieur du Kouffo au sud du lac Aheme comme de nombreux bras lagunaires à l'est et à l'ouest de Cotonou.

En milieux salés, sur les rives gorgées d'eau des lagunes soumises au régime des marées on rencontre en quelques endroits des reliques de mangrove, particulièrement le long du littoral entre Cotonou et Ouidah. A Togbin, on voit de petits massifs de Rhizophora racemosa dont les plus grands ne dépassent pas 5 mètres. Ils sont situés en bordure de la lagune et la base des racines est constamment dans l'eau.

En arrière de Rhizophora sur des sols spongieux on remarque Avicennia africana peu nombreux et très dispersés. Ils sont presque toujours mal conformés. Certains ont un diamètre de 20 à 30 cm à la base mais ne dépassent jamais 10 mètres de hauteur. Des petits massifs sont aussi présents à Avleke, à Zoungbodji au sud de Ouidah et des arbustes isolés de Rhizophora racemosa ont été vus au cours des sondages floristiques au sud de Come.

En zone très sèche continentale, on a traité en formations marécageuses arbustives des formations situées le long du lit mineur du Niger, au-dessus du niveau des eaux à l'étiage. Ces formations arbustives ont été identifiées à l'aide des photographies aériennes. Elles apparaissent claires - forte réflectance - sur l'image Landsat du canal 7 en saison sèche, période de crue du fleuve.

En saison des pluies, période d'activité végétative, elles apparaissent sombres - sans réflectance - dans le canal 7. Le fleuve est à son niveau le plus bas. L'activité de ces formations semble dépendre d'une plus ou moins grande hydromorphie des sols elle-même liée au rythme des inondations.

Formations mixtes forestières et graminéennes

Forêt claire et savane boisée

Si les images Landsat n'ont pas permis de faire la distinction entre la savane boisée (couvert des couronnes d'arbres compris entre 20% et 50%) et les flots de forêt claire (couvert des couronnes d'arbres compris entre 50% et 80%) cette dernière appellation a néanmoins été conservée, en zone sèche continentale, car l'examen des photographies aériennes a montré l'existence de telles formations confirmée par les reconnaissances au sol et les survols. Généralement de faible superficie, elles se tiennent le plus souvent au sein des savanes boisées sur les crêtes secondaires et du fait de leur situation sont relativement épargnées par les feux de brousse.

L'appellation savane boisée s'applique aux formations de même aspect physionomique que l'on rencontre dans les trois zones même si leur composition floristique influencée principalement par les facteurs climatiques est différente.

Savane arborée, arbustive, herbeuse

Ces formations très ouvertes dérivent de la précédente. Le couvert des couronnes d'arbres est inférieur à 20%. La strate arbustive est plus dense et le tapis graminéen est continu.

Une distinction entre ces trois types n'a pas été faite; les images Landsat de saison sèche ne permettent pas une séparation objective. A cette époque, ces formations ont une tonalité identique sur les images engendrées par les feux qui consomment la couverture herbacée ainsi que les couronnes des arbustes et des arbres.

Zone sèche littorale à savanes boisées et arborées (classes 9, 10)

Les espèces arborescentes des savanes appartiennent généralement à la flore des forêts primitives et l'on rencontre dans la partie nord de la zone des espèces communes à la zone sèche continentale.

Au nord de la dépression de Lama, Daniellia oliveri domine en mélange avec Parkia biglobosa. Quelques Adansonia digitata se rencontrent ainsi que Terminalia glaucescens. La strate arbustive est caractérisée par Lophira lanceolata et Vitex domiana.

Un sondage effectué en savane arborée au nord de Pobe a permis de relever la présence de Chlorophora excelsa et Albizzia sp. Au sud de Ketou, outre les essences précitées, on trouve Ceiba pentandra et Daniellia oliveri. Elaeis guineensis est présent partout.

Borassus aethiopum se rencontre isolément dans toute la zone littorale, mais on le trouve en groupements importants dans la région de Come-Bopa qui est aussi propice par sa faible pluviométrie (900 mm) à Adansonia digitata qui a ici une forte présence.

En savane arborée littorale Lophira lanceolata constitue parfois des groupements presque purs.

Zone sèche continentale: forêt claire, savane boisée et arborée (classes 2, 3)

Cette zone est soumise à une pluviométrie moyenne annuelle de 1 000 à 1 400 mm. C'est un des éléments du climat qui influencent profondément la végétation.

Depuis la limite nord de la zone littorale jusqu'au-delà de Djougou et Parakou, la pluviométrie voisine 1 300 mm; elle atteint 1 400 mm dans la région de Djougou. C'est la partie la plus arrosée de la zone et aussi la plus boisée. Elle est caractérisée par quelques espèces que l'on retrouve en densité variable dans toute la région: Isobertlinia doka, Anogeissus leiocarpus - nombreux au nord de Parakou - Daniellia oliveri, Azelia africana, Butyrospermum paradoxum, Burkea africana, Parkia biglobosa. Khaya senegalensis apparaissent dans ces formations à partir de Bassila et Pterocarpus erinaceus à partir de Djougou. On retrouve ces espèces moins nombreuses, plus dispersées jusqu'au nord de Kerou (pluviométrie 1 200 mm). Ceiba pentandra se rencontre encore dans la région de Ndali qui semble être sa limite au nord-est.

D'autres essences font leur apparition: Monotes kerstingii vers le parallèle 10°30' à l'est de Bembereke ainsi que Sterculia tomentosa. Au nord de Parakou, région à pluviosité inférieure à 1 200 mm, les sondages floristiques ont permis de reconnaître Acacia caffra et Strychnos spinosa, arbustes épineux et dans la région de Kandi, Acacia sieberiana. A la limite nord de la zone où la pluviométrie voisine 1 000 mm Khaya senegalensis n'apparaît plus en savane et Pterocarpus erinaceus est moins fréquent.

Dans la partie nord-ouest de la zone, à l'ouest de la chaîne de l'Atakora dans une région à pluviométrie voisinant 1 000 mm, Butyrospermum paradoxum, Lannea acida, Azelia africana et Pterocarpus erinaceus sont représentatives des savanes arborées avec dans la strate arbustive Sparagus africana.



Figure 5. Tache de savane boisée. Forme tortueuse des arbres due aux feux annuels.
Près de Parakou. Classe 2.



Figure 6. Tache de savane boisée avec quelques grands arbres.
Route Parakou - Bambereke. Classe 2.

Un sondage effectué par le projet en savane arborée à Boukoubrou au nord de Kerou indique la présence de Butyrospermum paradoxum, Khaya senegalensis, Pterocarpus erinaceus, Anogeissus leiocarpus, Afromorsia laxiflora, Acacia caffra (épineux de forme arborescente) et Borassus aethiopum très disséminé.

Zone très sèche continentale à savane arborée (classes 20, 21)

On retrouve dans cette zone à pluviométrie inférieure à 1 000 mm (Malanville 850 mm) un grand nombre d'espèces de la zone sèche continentale mais avec une fréquence différente selon les régions. Les arbustes sont plus nombreux et contribuent d'une manière générale à caractériser cette formation.

Anogeissus leiocarpus et Azelia africana se rencontrent dans toute la zone. Burkea africana, Vitex domiana, Manilkara multinervis sont nombreux entre le sud de la zone et Malanville où l'on trouve aussi, avec une bonne fréquence, Afromorsia laxiflora ainsi que Lanea acida. Les épineux les plus communs sont Acacia pennata, Acacia macrostachya, Ziziphus spinachristi. Au centre de la zone et à l'est de Malanville Guiera senegalensis et Terminalia avicennioides sont bien représentés.

À l'ouest de la zone, les peuplements sont composés des mêmes essences. Anogeissus leiocarpus se rencontre partout. On note aussi la présence de Adansonia digitata assez disséminé. La strate arbustive est importante, représentée assez souvent par Tamarindus indica et Balanites aegyptiaca. On note la présence par pieds isolés de Bombax costatum et de Borassus aethiopum, ce dernier assez abondant le long des rives du Niger où il constitue parfois des peuplements.

Un sondage effectué dans la zone relativement sèche de Malanville entre les rivières Sota et Alibori indique la présence de Guiera senegalensis, Pterocarpus erinaceus et d'espèces arbustives Terminalia avicennioides, Piliostigma reticulata et trois espèces de Combretum.

Au nord-ouest de la zone, entre les rivières Alibori et Mekrou, on rencontre les mêmes essences arborescentes mais la strate arbustive épineuse est importante comprenant principalement Ziziphus spinachristi, Acacia pennata, Acacia macrostachya, Dichrostachys glomeratum et Balanites aegyptiaca.

Types d'occupation du sol: cultures (classes 11, 12, 13)

En zone sèche littorale on a distingué les complexes de cultures et de jachères installés sur des sédiments sablo-argileux et argilo-sableux caractérisés par l'abondance des palmiers à huile (Elaeis guineensis) à l'abri desquels les cultivateurs ont établi leurs cultures vivrières. Cette formation dont la mise en place naturelle ou artificielle est sujette à controverse couvre près de 650 000 hectares.

Cette palmeraie est parsemée de parcelles de jachères constituées de nombreux Elaeis en mélange avec d'autres essences et d'une strate basse dense arbustive et graminéenne.

Un sondage réalisé au nord de Come indique la présence dans une parcelle en jachère de Burkea africana, Fagara sp., Nuclea latifolia, Lophira lanceolata et Borassus aethiopum. De nombreuses plantations industrielles sont également établies dans cette région.



Figure 7. Tache de savane arborée et arbustive en voie de défrichement par application du feu. 25 km de Parakou vers Djougou. Classe 4.



Figure 8. Savane arbustive sous l'influence du feu, d'élagage et d'abrouissement mais capable d'une forte reconstitution. Près de Save. Classe 4.

Au nord de cette formation jusqu'à la limite de la zone littorale les palmeraies, sans disparaître totalement du paysage, sont beaucoup moins nombreuses. Des essences isolées ou groupées en petits bosquets, reliques des forêts anciennes, parsèment les cultures. Les plus fréquemment rencontrées sont Ceiba pentandra et Chlorophora excelsa.

Les savanes littorales à Lophira lanceolata sont également parsemées de parcelles de cultures vivrières qui n'ont pas été cartographiées. Cette formation de par la dispersion et la disposition des défrichements a été appelée mosaïque de cultures et de savanes.

Le littoral du Bénin, à l'ouest de Cotonou est bordé sur une faible largeur de cocoteraies (Cocos nucifera) plus étendues à l'est, au sud de Porto Novo.

Zone sèche continentale et très sèche continentale: savanes arborées et arbustives à forte emprise agricole. (classes 4, 22)

Elles concernent les cultures vivrières permanentes et les cultures industrielles (anacardiens principalement) établies dans les formations de savane. Elles peuvent se présenter en groupements de parcelles homogènes plus ou moins étendus ou en parcelles disséminées, séparées les unes des autres par des formations arborées non défrichées ou par des jachères, ce qui est le cas le plus fréquent.

Ces cultures et jachères sont parsemées d'arbres de la savane environnante laissés sur place par les agriculteurs mais dans les zones considérées ce sont le plus souvent des essences fournissant des fruits comestibles tels le Néré (Parkia biglobosa) et le Karité (Butyrospermum paradoxum) qui sont l'objet d'un commerce florissant.



Figure 9. Savane arborée à forte emprise agricole. La plupart des arbres sont des Karités et Nérés épargnés pour leurs fruits. Près de Djougou. Classe 4.



Figure 10. Paysage près de Djougou, largement dépourvu de végétation ligneuse à cause des cultures et feux. Classe 4.

CHAPITRE 5

MODIFICATION DU COUVERT VEGETAL DANS LES ZONES D'ETUDE

5.1 INTRODUCTION

Les objectifs énoncés dans le document du projet (article 2.02) incluent "obtenir... des données... sur les modifications quantitatives et qualitatives de la couverture forestière dans des zones critiques".

Cet objectif est basé sur le besoin général constaté pendant la phase de formulation (para. 3.1 du rapport sur la "Formulation d'un projet de surveillance continue de la couverture forestière tropicale", FAO, Rome, 1976). L'étude des modifications a essentiellement pour but de mettre en évidence la dégradation et la régression forestières pour justifier ainsi une action corrective, et deuxièmement de permettre de définir la méthodologie des futures activités de surveillance continue par l'analyse des changements constatés.

La méthodologie, préconisée pour évaluer les changements du couvert forestier tropical au cours des 20 dernières années, consiste en une comparaison quantitative et qualitative d'un nombre de zones d'étude représentatives, dans des régions menacées où les modifications de la couverture forestière sont critiques pour l'équilibre écologique (Rapport sur la formulation, p. 30).

En République Populaire du Bénin, comme indiqué sur la carte du couvert végétal, les forêts qui restent à ce jour couvrent une superficie très restreinte du territoire (0,55% de la surface totale - Tableau 4.1). En plus, elles sont en grande partie déjà soumises à l'exploitation forestière et au défrichement agricole d'où elles sont caractérisées généralement comme dégradées.

Il y a cependant de grandes étendues de formations mixtes relativement fermées, de forêts claires et savanes boisées, qui à l'heure actuelle constituent les réserves les plus importantes de terres cultivables et de bois (11% de la surface du pays).

La situation la plus critique correspond presque toujours aux environs des centres de population. En juin 1977 le comité de coordination du projet pilote a indiqué cinq régions pour l'implantation possible des zones d'étude près d'une ville importante. En octobre 1977, pendant la première mission du consultant, le choix final de deux zones d'étude a été fait par le Directeur National du projet. L'emplacement de ces deux zones, une près de Malanville dans l'extrême nord du pays, l'autre près de Djougou au centre-nord, est indiqué sur la carte N° 4. Il fallait limiter l'emplacement des zones à la partie du pays couverte par des photographies aériennes à deux dates, i.e. au nord de 8° 30'. Bien que dans la zone de Malanville il n'y ait pas de forêts à proprement parler, le choix de cette zone a été influencé par le fait que la diminution de la couverture ligneuse était particulièrement importante, tant du point de vue écologique que du point de vue socio-économique.

5.2 PROCEDURE

Pour les deux zones choisies, deux couvertures de photographies aériennes étaient disponibles:

- missions I.G.N. 1949, 1950; 1:50 000ème panchromatique;
- mission Kenting 1974-75; 1:80 000ème panchromatique et infrarouge noir et blanc.

L'objectif principal était de réaliser pour chaque zone une carte à l'échelle de 1: 50 000 portant les limites des formations végétales et des types d'occupation du sol existants en 1949 et 1974, puis d'estimer, par des mesures de surface, les modifications survenues au cours de cette période.

Pour atteindre cet objectif, la manière d'opérer a été la suivante:

1. Recherche des documents photographiques concernant les zones d'étude et établissement des tableaux d'assemblage.
2. Etablissement d'une classification des formations végétales et des types d'occupation du sol significatifs pour l'étude à entreprendre et identifiables sans ambiguïté sur les photographies aériennes disponibles.
3. Photo-interprétation préliminaire au bureau des formations végétales caractéristiques.
4. Contrôle sur le terrain à l'aide des photographies aériennes les plus récentes, des formations végétales correspondant aux images photographiques identifiées. Etablissement de clés de photo-interprétation. Enregistrement des informations recueillies sur des fiches préparées à cet effet.
5. Interprétation des photographies aériennes des deux missions qui couvrent les zones d'étude.
6. Report des limites des formations identifiées sur un fond de carte approprié.
7. Dessin définitif des formations végétales et types d'occupation du sol. Chaque mission est représentée séparément sur une carte à l'échelle de 1:50 000.
8. Estimation des modifications survenues dans la couverture végétale entre les deux prises de vues, par comparaison des superficies déterminées à l'aide d'une grille de points.

5.2.1 Photo-interprétation

L'interprétation à réaliser est essentiellement physionomique. L'examen stéréoscopique d'un couple de photographies aériennes permet de définir la texture de l'image, son aspect, la densité du couvert d'une formation boisée, la hauteur de la strate observée. La tonalité est aussi un critère important à l'échelle de 1:50 000 et 1:80 000. L'examen attentif de ces caractères, l'expérience acquise, le raisonnement doivent guider vers une identification satisfaisante que l'on affine en se référant aux clés de photo-interprétation établies par des observations au sol.

Le dessin des contours des formations végétales identifiées est exécuté à l'encre de chine noire sur un film transparent superposé et fixé à la photographie à interpréter. A l'intérieur des contours on porte le numéro code correspondant à la formation végétale identifiée.

5.2.2 Report

Report de l'interprétation des photographies aériennes à l'échelle de 1:50 000

Le report est l'opération qui consiste à transférer sur un fond de carte à une échelle choisie les limites tracées au cours de la photo-interprétation. L'échelle sélectionnée pour la représentation cartographique définitive a été de 1:50 000, ce qui est sensiblement celle des photographies aériennes I.G.N.

En absence des cartes au 50 000ème le fond cartographique a été obtenu par agrandissement photographique à l'échelle de 1:50 000 des parties de carte au 200 000ème portant les limites précises des zones d'étude. Avant l'agrandissement, on prolongera sur la carte au 200 000ème, les méridiens et parallèles qui devront figurer sur la carte définitive.

On superpose au fond de carte au 50 000ème un film plastique (polyester par exemple) de bonne stabilité dimensionnelle, lisse sur une face afin d'avoir une bonne vision des détails. Après l'avoir fixé on trace par transparence les croisillons des méridiens et parallèles.

On exécute ensuite le report proprement dit soit par des procédés optiques, soit à vue. Faute de chambre claire (aerosketchmaster), c'est le procédé de report à vue qui a été employé.

Utilisation du stéréoscope à miroirs

On détermine sur la photographie aérienne quatre points caractéristiques également identifiables sur le fond de carte (confluents de rivières, carrefours de routes, etc.) formant les sommets d'un quadrilatère qui serviront de points d'appui au report.

On place la photographie et la partie correspondante du fond de carte recouvert du film plastique comme deux photographies aériennes lorsqu'on les examine stéréoscopiquement, en mettant en correspondance les quatre points homologues du calque et de la carte.

On trace alors sur le film polyester - côté mat - au crayon les contours des formations identifiées que l'on repasse ensuite à l'encre de chine noire.

Lorsque les points d'appui choisis sont trop éloignés les uns des autres, lorsque l'échelle de la photographie et de la carte diffèrent ou lorsque le relief est accentué, on ne peut mettre en correspondance les quatre points avec suffisamment de précision.

Dans ces cas, il faut réduire la figure en recherchant quatre autres points plus rapprochés communs à la photographie et à la carte. Cette méthode des facettes donne, en terrain faiblement accidenté, des résultats satisfaisants.

Report "à vue" des photographies aériennes maquillées, à l'échelle de 1:80 000

On réalise un agrandissement photographique à l'échelle de 1:80 000 des parties de carte au 200 000^{ème} portant les limites précises des zones d'étude. Pour servir comme fond de carte, on opère ensuite d'une manière identique à celle décrite pour les photographies à l'échelle de 1:50 000. Le report "à vue" doit être exécuté avec beaucoup de soin si l'on veut obtenir une précision admissible dans le positionnement des formations interprétées.

L'échelle des fonds de carte doit correspondre à celle des photographies utilisées d'où la nécessité de bien connaître l'échelle de ces dernières avant l'agrandissement des cartes de petite échelle existantes. Les points d'appui doivent être identifiables sans ambiguïté sur les clichés et la carte. Si les discordances graphiques sont importantes, on applique le procédé des facettes.

5.2.3 Cartographie

Les formations végétales et types d'occupation du sol interprétés sur les photographies aériennes des missions anciennes et récentes doivent être cartographiés à l'échelle de 1:50 000. Lorsque le report des formations végétales identifiées sur les photographies aériennes Kenting est terminé, on agrandit photographiquement au 50 000^{ème} le film polyester à l'échelle de 1:80 000 sur lequel le transfert a été effectué. Le résultat de l'interprétation de missions différentes d'une même zone est alors représenté à la même échelle et est parfaitement comparable.

Le dessin définitif est ensuite exécuté. Les numéros codes des formations végétales et types d'occupation du sol sont remplacés par des trames judicieusement choisies afin de faciliter la lecture des cartes.

5.2.4 Estimation des superficies

L'estimation des surfaces de formations végétales et types d'occupation du sol cartographiés a été faite à l'aide d'une grille de points à maille carrée de 5 mm de côté. La valeur du point à l'échelle de 1:50 000 est de 6,25 hectares.

On utilise pour le comptage une feuille de papier calque millimétré à défaut d'une reproduction photographique de celle-ci sur un film transparent. Les points sont les intersections des lignes perpendiculaires équidistantes de 5 mm.

On compte pour 1 les points tombant à l'intérieur des limites d'une formation et pour 0,5 les points situés sur une limite commune à deux formations ainsi que sur la limite extérieure de la zone.

De plus, la méthode employée par le projet au Togo peut servir aux fins d'une analyse des changements qualitatifs ainsi que quantitatifs, survenus dans les zones d'étude. Une grille de points est établie, semblable à celle utilisée pour l'estimation des surfaces des formations végétales sur les cartes préparées à partir de l'interprétation des photographies aériennes à deux dates. Cette grille porte quelques repères (routes, réseau hydrique) pour faciliter la localisation des formations et des coordonnées figurent aux points de la grille. Puis la formation, présente à chacune des deux dates, est indiquée pour chaque point de la grille (par une lettre ou numéro de code). Ceci permet à la fois d'estimer les surfaces et de suivre l'évolution du couvert végétal autant qu'il est possible de savoir, quelle proportion de la forêt est devenue savane boisée, culture, etc.

5.3 ETUDE DES ZONES - RESULTATS

L'interprétation des photographies aériennes les plus récentes a été faite par le consultant pendant sa première mission et a servi également pour former le personnel de contrepartie qui a été lancé sur l'interprétation des photos anciennes. Le report et la cartographie des résultats de l'interprétation, ainsi que l'estimation des surfaces aux deux dates ont été exécutés par l'équipe de contrepartie, avec l'appui du consultant pendant les dernières phases, au cours de sa deuxième mission.

L'avancement de ces travaux n'a pas permis une analyse des résultats aussi détaillée que prévu. Des tableaux des superficies des classes en 1949-50 et 1974-75 ont été établis, ce qui permet une comparaison de la situation aux deux dates. Mais la matrice indiquant la classification de chaque point (voir 5.2.4) aux deux dates permettant de suivre la transformation d'une classe à l'autre d'une manière précise n'a pas été établie. Cependant, les résultats disponibles indiquent assez clairement les tendances de l'évolution du couvert végétal dans les deux zones d'étude.

5.3.1 Zone d'étude de Malanville

Cette zone d'une superficie de 400 km² est située dans la zone éco-floristique III, très sèche continentale, dans le nord du pays (carte N° 4). C'est un rectangle orienté nord-est sud-ouest, s'appuyant sur le fleuve Niger, avec des limites de part et d'autre de la route Malanville-Kandi.

La région autour de Malanville a été étudiée sur le terrain par l'équipe nationale en septembre 1977, juste avant le début de la première mission du consultant. En fonction de cette reconnaissance et de l'étude des photographies aériennes, les classes suivantes ont été établies pour la zone:

- Savane boisée
- Savane arborée
- Savane arbustive
- Galerie forestière
- Galerie arbustive
- Peuplement saxicole arboré
- Peuplement saxicole arbustif
- Zone inondable
- Culture et jachère récente
- Sol nu
- Agglomérations
- Eaux.

Cependant, lorsque les surfaces des classes ont été mesurées, certaines ont été combinées (galeries, peuplements saxicoles, cultures et agglomérations) comme le montre le tableau N° 5.1. La nécessité de passer de l'échelle de 1:200 000 à 1:80 000 et ensuite au 50 000ème pour la cartographie du couvert végétal et de l'occupation des sols à partir des photographies aériennes les plus récentes (5.2) a entraîné un certain manque de correspondance planimétrique des cartes aux deux dates. Ces cartes n'ont pas été reproduites dans ce rapport, n'ayant pu être redessinées en temps utile.

TABEAU 5.1

ZONE D'ETUDE DE MALANVILLE

SUPERFICIE DES CLASSES DE VEGETATION EN 1950 ET 1975

Classes de végétation	1950		1975	
	ha	%	ha	%
Savane boisée	2 481	6,20	53	0,13
Savane arborée	26 197	65,52	3 234	8,09
Savane arbustive	59	0,14	23 306	58,30
Galerie forestière	643	1,60	641	1,60
Peuplement saxicole	147	0,36	434	1,08
Zone inondable	6 509	16,28	4 929	12,33
Cultures et agglomérations	2 600	6,50	6 806	17,02
Sol nu	66	0,16	56	0,14
Eaux	584	1,46	522	1,31
Surface totale	39 981	100	39 981	100

Observations: Pour l'année 1950, 694 ha, soit 1,73% de la superficie totale sont sans classification (vide représenté par une photographie manquante).

Mais celles-ci montrent assez clairement les modifications du couvert végétal pendant l'intervalle de 25 ans entre les deux couvertures aériennes disponibles, dont les plus frappantes sont l'extension de la surface cultivée et la transformation de la savane boisée et arborée en savane arbustive.

On peut constater, à partir du tableau N° 5.1 que presque toute la surface classée comme savane boisée en 1949 a disparu en 1975 et que la surface de la savane arborée a diminué de 85% environ. Ces deux formations ont été transformées pour la plupart en savane arbustive, dont la superficie a été multipliée par près de 400 (59 ha en 1949, 23 306 ha en 1975). La surface des cultures, jachères récentes et agglomérations, a augmenté de près de deux fois et demi.

Ces modifications sont d'une telle ampleur que malgré toutes les erreurs possibles pendant les opérations de l'étude - photo-interprétation, report cartographique, estimation des surfaces - les tendances d'une forte croissance de l'exploitation des terres et de la consommation en bois sont assez claires.

Selon les données du tableau N° 5.1, le taux moyen annuel de disparition de la savane boisée s'élève à 3,9% de la surface en 1949, et de la savane arborée à 3,5%. Ainsi en 25 ans la première a déjà presque totalement disparu, tandis que les derniers vestiges de la savane arborée auraient été transformés après quatre ans donc vers 1979.

A cause des possibilités d'erreurs évoquées ci-dessus, ces calculs ne sont probablement pas très précis quant à la vérité au sol. Mais l'ordre de grandeur est semblable à celui constaté pour la zone de Djougou (ci-dessous). On peut donc conclure qu'à proximité de ces deux villes les dernières formations arborescentes relativement fermées sont en voie de disparition assez rapide.

5.3.2 Zone d'étude de Djougou

Cette zone d'une superficie de 770 km², est située dans la zone éco-floristique I, sèche continentale, au centre-ouest du pays (carte N° 4). La zone est limitée par un rectangle orienté nord-ouest, sud-est, englobant la ville de Djougou au nord-ouest. Les grands côtés sont situés de part et d'autre de la route Djougou-Bérou.

L'interprétation préliminaire des photographies aériennes de 1975 a été contrôlée sur le terrain en octobre 1977. Les deux cartes qui ont été établies à partir de photographies aériennes de 1949 et 1974-75, ainsi que le tableau N° 5.2 où les surfaces de classes de végétation et d'occupation du sol à ces deux dates sont résumées, montrent qu'il y a eu une modification sensible pendant cette période de 26 ans. En général, on constate qu'une forte dégradation des formations arborées les plus fermées est intervenue, ainsi qu'une expansion importante des surfaces cultivées.

Ainsi la forêt dégradée a presque entièrement disparu; la savane boisée a été réduite de près de 18 000 ha à moins de 3 000 ha; les galeries forestières ont été réduites de près de deux tiers de leur surface originale. En proportion de la surface totale, les formations au couvert arborescent relativement dense sont passées de 34,6% en 1949 à seulement 6,3% en 1975 (soit une diminution de 28,3%).

Au contraire, la superficie de la savane arborée et arbustive a augmenté en proportion de 13,5% à 19,1%, les cultures et agglomérations de 50,5 à 73,6%, dans l'ensemble une augmentation de 29,3% de la surface totale.

Malgré les erreurs possibles dans la photo-interprétation, la cartographie et l'estimation des surfaces, les tendances sont évidentes: épuisement progressif des ressources en bois entraînant un appauvrissement du couvert végétal (et une réduction de sa fonction protectrice) et une expansion des cultures. L'ensemble de ces facteurs conduit à une réduction du rendement des sols et pose des problèmes pour l'approvisionnement en bois de la zone.

Selon les données du tableau N° 5.2, le taux annuel moyen de la disparition de la forêt non dégradée est de 1% de la surface de 1949. Mais ceci est peu significatif étant donné qu'il n'y avait que quelque 300 ha de cette formation au début. Les réserves importantes en terres cultivables et en bois sont représentées par la forêt dégradée, la savane boisée et les galeries forestières. Ces formations ont été réduites à un taux annuel moyen, respectivement de 3,8%, 3,2% et 2,4% de leur superficie en 1949. Si ces taux sont maintenus pendant les prochaines années, les derniers restes de savanes boisées auront disparu en 5 à 6 ans et les galeries en 15 ans. De plus, il est fort probable qu'après que les savanes boisées auront été exploitées jusqu'au bout, l'exploitation des dernières galeries sera accélérée.

Ces données se réfèrent à une zone déterminée aux environs d'une ville importante. Les résultats quantitatifs qui en découlent n'ont donc qu'une valeur indicative. Pourtant les indications montrent nettement que pendant les dernières deux ou trois décennies, il y avait une dégradation très importante des formations arborescentes et que cette dégradation est toujours en cours. Il est donc évident qu'il n'est pas prématuré de considérer les mesures à appliquer en vue d'éviter un niveau de dégradation qui sera de plus en plus difficile à corriger.

TABEAU 5.2

ZONE D'ETUDE DE DJOUGOU

SUPERFICIE DES CLASSES DE VEGETATION EN 1949 ET 1975

Classes de végétation	1949		1975	
	ha	%	ha	%
Forêt semi-décidue	306	0.4	225	0.3
Forêt semi-décidue dégradée	4 450	5.8	62	0.1
Savane boisée	17 734	23.0	2 991	3.9
Savane arborée et arbustive	10 419	13.5	14 722	19.1
Savane herbeuse	844	1.1	-	-
Galerie forestière	4 125	5.4	1 534	2.0
Formation saxicole	103	0.1	737	1.0
Sol nu	200	0.2	41	-
Cultures et agglomérations	38 937	50.5	56 806	73.6
TOTAL	77 118	100	77 118	100

CHAPITRE 6

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

6.1 CONCLUSIONS

Dans le domaine de la cartographie à petite échelle du couvert végétal, la carte qui a été produite par le projet pilote fournit une bonne preuve de l'utilité de l'application des images Landsat à cette fin, comme élément principal d'une procédure à phases multiples. Bien que la couverture Landsat ait été en partie de qualité médiocre, grâce à l'aide de nombreux sondages de terrain, de l'exploitation judicieuse des photographies aériennes et d'autres documents disponibles et de quelques reconnaissances aériennes, il a été possible de compléter la cartographie détaillée du couvert végétal à l'échelle de 1:500 000 de tout le territoire du pays dans un délai assez bref. En effet, bien que la durée totale du projet au Bénin ait été de presque deux ans (février 1977 à décembre 1978), la préparation de la carte a été complétée pendant les quatre mois de séjour du consultant en plus des trois mois consacrés aux sondages de terrain par l'équipe béninoise.

Mais à cet égard, il est important de noter que selon l'expérience du projet pilote, et non seulement au Bénin, il y a un manque global de personnel qualifié dans ce genre de travail sous les tropiques. Ceci est largement dû au fait que l'existence des données Landsat ne date que de 1972 et que dans les premières années elles ont été peu utilisées dans ces régions. Bien que la durée du projet ait été prolongée de 12 mois à 23 mois, il n'a pas été possible d'affecter du personnel qualifié à plein temps au Bénin. Etant donné l'intérêt de poursuivre l'exploitation des données de télédétection au Bénin non seulement dans le domaine de la foresterie mais dans le cadre plus large de l'aménagement rural, il est important d'envisager la formation d'un nombre adéquat de personnel béninois à même d'appliquer ces données.

Compte-tenu du lancement de Landsat-3 en mars 1978, des démarches avaient été entreprises auprès de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des Etats Unis dès avril 1977 dans le but d'obtenir de nouvelles images pour compléter et améliorer la couverture Landsat du Bénin. Mais cette initiative n'a pas eu de résultat du fait des possibilités d'enregistrement des données très limitées en dehors des zones pourvues d'une station réceptrice. Cet état de choses est la raison pour laquelle la couverture Landsat des zones tropicales est souvent incomplète et consiste pour la plupart en données prises pendant les saisons sèches, périodes pendant lesquelles la couverture nuageuse est relativement réduite.

Cependant, plusieurs améliorations concernant la disponibilité et la qualité des images Landsat sont en train d'être réalisées. Au cours de 1979, un nouveau système de production des images a été mis en œuvre à l'EROS Data Centre qui donnera des données d'une meilleure qualité photographique, avec suppression des bandes de balayage, amélioration des contrastes et corrections géométriques qui faciliteront l'interprétation ainsi que la cartographie à partir des images. En 1981, il est prévu de lancer un satellite consacré à la liaison directe du quatrième satellite Landsat avec les stations réceptrices, ce qui augmentera sensiblement les possibilités d'enregistrement des données dans les zones tropicales et donc d'obtenir une couverture complète du Bénin aux deux saisons.

A cet égard il faut bien noter que la saison sèche est peu favorable à l'interprétation des formations les plus répandues au Bénin, à savoir les différents types de savanes. La plupart de ces formations sont soumises aux feux de brousse et ailleurs le tapis herbacé est sec, facteurs qui empêchent la délimitation des différents types de savane et même des cultures. En pleine saison des pluies, la pousse de la strate herbacée est telle que l'effet est presque aussi nuisible à une interprétation détaillée que la sécheresse. C'est donc la période de transition entre la saison des pluies et la saison sèche, lorsqu'une partie du tapis herbacé est encore vert et les feux de brousse sont relativement peu étendus, point de vue normalement plus favorable de l'interprétation des images en zone de savane.

La carte du couvert végétal au 500 000ème donne un aperçu de la distribution des principales formations de végétation et de l'occupation des sols assez détaillé et relativement à jour (couverture spatiale 1975/76). Elle se prêtera aux applications diverses dans le domaine de la planification de l'aménagement rural. Il sera possible également d'extrapoler les résultats de l'inventaire du centre-nord (Projet PNUD/FAO BEN/76/014, Rapport technique N°1), sur toutes les surfaces analogues figurant sur la carte, sous réserve, bien entendu, des limites de précision des paramètres concernés.

En ce qui concerne la surveillance continue de la couverture forestière, la carte constitue à la fois un document de base qui aidera à l'identification des zones critiques, et un document de référence qui permettra de suivre les modifications importantes de l'ensemble du couvert végétal à l'échelle du pays.

En suivant les modifications du couvert végétal, le but est de savoir où il faut intervenir en temps utile pour empêcher une dégradation nuisible au rendement soutenu des terres (bois et/ou récoltes agro-pastorales).

Lorsqu'il y a des défrichements importants ou des phénomènes d'érosion ou d'inondation provenant de l'enlèvement du tapis végétal, la seule constatation de ce fait suffit à signaler le besoin d'intervenir. Cependant, il semble qu'au Bénin des modifications abruptes soient relativement rares. Il s'agit plutôt du processus observé dans les zones d'étude où les dégradations importantes proviennent des défrichements et des coupes de bois dépassant le plus souvent la possibilité de ces peuplements. C'est pour identifier de telles situations qu'une surveillance continue par la méthode appliquée aux zones d'étude fournit un moyen efficace.

Bien qu'il soit possible d'observer les modifications de la surface d'un massif forestier, ou d'une grande galerie forestière, sur des images Landsat de bonne qualité (et de préférence améliorées) aux différentes dates, elles se prêtent rarement à l'observation des dégradations à l'intérieur des formations, surtout celles de savane. Pour ceci il est nécessaire d'employer les photographies aériennes au 50 000ème, ou même au 80 000ème si leur qualité est bonne. Plus petite est l'échelle employée, sous réserve d'être utilisable, plus grand est le rendement (par unité de surface) dans les différentes phases du travail.

L'étude de la zone de Malanville et de Djougou a montré qu'en vingt cinq ans il y avait eu un appauvrissement considérable du couvert végétal. Il serait intéressant d'étudier les couvertures photographiques aériennes des années cinquante et de 1974/75 des environs d'autres agglomérations importantes. Ceci aurait pour résultat de localiser d'autres régions où un aménagement des terres et des formations ligneuses s'impose, ou des zones où une surveillance répétée serait utile.

La carte peut aussi fournir des indications concernant les formations les plus menacées. On peut supposer, par exemple, que les formations ligneuses les plus denses sont les plus recherchées pour l'extension des cultures ou la récolte du bois. Entre deux peuplements de mêmes caractéristiques, il est probable que celui qui se trouve voisin d'une zone cultivée ou exploitée est plus menacé que celui entouré de formations moins dégradées. L'application de la carte du couvert végétal à cette fin, ainsi qu'à d'autres aspects de la surveillance continue, est considérée plus en détail dans le rapport d'ensemble sur la méthodologie, les résultats et la conclusion du projet.

Pour l'identification des zones à surveiller, il sera également important d'assurer une bonne liaison entre l'unité de surveillance continue et les autorités responsables des actions de développement qui pourraient entraîner directement ou indirectement un impact nuisible sur le couvert végétal. D'autre part, il faut s'assurer que les résultats des activités de surveillance seront portés à la connaissance des responsables de la gestion des zones concernées.

Il ne faut pas ignorer non plus l'intérêt d'une surveillance des zones où se produit une reconstitution de la végétation. En dehors de l'intérêt purement écologique d'un tel phénomène, une connaissance des différents stades de reconstitution de la végétation et des périodes correspondantes, permet de définir les techniques d'aménagement à appliquer selon les buts recherchés: amélioration des parcours, production du bois de différentes catégories, protection contre l'érosion, etc.

Les observations périodiques exigent de nouvelles prises de vues aériennes pour permettre une analyse des modifications survenues. Sauf si de nouvelles couvertures aériennes peuvent être obtenues dans le cadre d'un programme plus large, le coût des missions photographiques pour des surfaces relativement restreintes et dispersées est très élevé. De plus, il y a le problème dans les régions tropicales des conditions météorologiques qui souvent empêchent la réalisation des prises de vues.

Pour les besoins d'une surveillance continue, il vaut mieux envisager l'emploi des avions légers pourvus d'un appareil photographique de 35 ou 70 mm dont les frais ne sont pas trop élevés et qui permettent de profiter des conditions météorologiques favorables pendant de courtes périodes. Il sera donc nécessaire qu'une unité de surveillance continue dispose soit de son propre avion léger convenablement équipé, soit d'un équipement que l'on peut installer sur n'importe quelle marque d'avion (d'un type convenable, bien entendu) qui soit disponible.

Le programme très chargé du projet n'a pas permis des expériences dans ce domaine. Les supports des appareils photographiques n'étant pas disponibles, il faut en fabriquer un qui soit adapté à un avion particulier dont le projet ne disposait pas. Cependant, un manuel d'opération a paru en avril 1978 d'un système de photographie aérienne basé sur un appareil de 35 mm (Meyer and Grumstrup, 1978). Ce système qui est pratiquement commercialisé aux Etats-Unis comporte le montage d'un appareil photographique de 35 ou 70 mm qu'on peut adapter aux avions divers. Il sera donc possible d'utiliser de tels systèmes de photographie aérienne avec différents types d'avions légers en location.

Bien que ce genre de système ait aussi ses inconvénients, il est difficile d'envisager d'autres moyens pour obtenir une couverture photographique d'une manière relativement sûre et sans engager de trop grandes dépenses. Les inconvénients résultent de l'emploi d'avions légers qui ne sont pas adaptés à une navigation très précise, sauf s'ils sont équipés d'un système de navigation globale. Ceci influence la longueur des lignes qui peuvent être photographiées, la précision du recouvrement latéral (qui sera en tout cas difficile à réaliser) et la précision du report entre les photographies et la carte, facteurs qui vont varier selon les conditions (vent par exemple) et l'expertise du pilote. Cependant, un tel système judicieusement appliqué peut résoudre un des problèmes principaux de la surveillance continue aux tropiques humides.

6.2 RECOMMANDATIONS

Dans la section précédente on a démontré l'intérêt de la poursuite des activités du projet pilote et d'une surveillance continue du couvert de la végétation ligneuse, et indiqué les méthodes à employer.

Il est recommandé de maintenir l'équipe formée dans le cadre du projet pilote comme unité technique chargée des tâches correspondantes, à savoir :

- Poursuite de l'étude des modifications du couvert végétal dans le passé, plus spécialement dans les zones d'influence des agglomérations importantes.
- Identification et signalisation des zones qui ont besoin d'être protégées et/ou aménagées à cause de l'état de la dégradation du couvert végétal.
- Identification des zones critiques, où le couvert végétal est menacé, et mise en route de leur surveillance périodique.
- Application des données de la télédétection (images spatiales, photographies aériennes) et utilisation de la carte du couvert végétal pour les activités de développement forestier.
- Collaboration technique pour la réalisation d'une campagne d'animation de la population rurale concernant l'intérêt de maintenir le couvert de la végétation naturelle en bon état.

Afin de remédier au manque de personnel qualifié dans l'application des données Landsat aux régions tropicales, dont il a déjà été fait mention, il est recommandé d'entreprendre un programme de formation du personnel béninois dans ce domaine. Ceci devrait permettre de renforcer le noyau du personnel formé par le projet pilote, en suivant le programme élaboré dans le document préparé conjointement par les autorités béninoises et le projet pilote pour la poursuite pendant trois ans des activités de ce dernier. Ce programme comporte deux stages de neuf mois en télédétection, six stages de quatre mois en dessin et cartographie thématique. De plus, il est conseillé de former un ou deux techniciens de niveau supérieur avec des notions de télédétection, photo-interprétation et cartographie thématique, mais spécialisés dans les domaines de la botanique et de l'écologie pour s'occuper des travaux de terrain.

Pour l'accomplissement de ses tâches, l'unité de surveillance continue doit être convenablement équipée. Il est recommandé que l'unité soit dotée au début de l'équipement mentionné dans le document cité au paragraphe précédent, dont les éléments principaux sont:

- Chambre claire conventionnelle
- Chambre claire stéréoscopique (zoom transferscope)
- Tireuse ozalid
- Tireuse diazo
- Appareils photographiques format 70 mm
- Intervallomètre
- Equipement pour production des photographies
- Véhicules et équipement de terrain.

Il serait nécessaire d'ajouter un système de montage d'un appareil photographique sur un avion léger (6.1).

Des progrès vers la réalisation de ces recommandations seront assurés dans un premier temps grâce au projet du Programme de Coopération Technique de la FAO qui sera mis en oeuvre en 1979 pendant une durée de six mois dans le but d'animer l'équipe béninoise de surveillance de la couverture forestière tropicale et de poursuivre les activités de surveillance continue.

BIBLIOGRAPHIE

- Aubréville, A., 1937. Les forêts du Dahomey et du Togo; Bull. du Comité d'études historiques et scientifiques de l'A.O.F.: 1-112.
- Keay, R.W.J., 1965. An Outline of Nigerian Vegetation (3rd ed.); Fed. Min. of Information, Lagos, 46 p.
- Marsch, H.E. 1978. Inventaire d'aménagement de la forêt de Lama; Document de terrain N°3, Projet PNUD/FAO BEN/73/014, 111 p.
- Meyer, M.P. and P.D. Grumstrup, 1978. Operating Manual for the Montana 35 mm aerial photography System, 2nd revision; Remote Sensing Laboratory, College of Forestry, Univ. of Minnesota, 62 p.
- Trochain, J.L, 1957. Accord interafricain sur la définition des types de végétation de l'Afrique Tropicale; Bull. Inst. d'Etudes centrafricaines, nouvelle série N° 13-14: 55-93.

LEGENDE

ZONES ECO-FLORISTIQUES DE BASSE ALTITUDE (généralement inférieure à 500 m; jusqu'à 600 m dans l'Atakora)

I. Zone sèche continentale (1 000-1 400 mm, mois secs 4-5)

1. Forêt semi-décidue et forêt décidue généralement dégradée (Antiaris africana, Chlorophora excelsa, Cola spp., Khaya senegalensis, Celtis spp.).
2. Forêt claire et savane boisée (Anogeissus leiocarpus, Butyrospermum paradoxum, Daniellia oliveri, Isobertia doka, Parkia biglobosa).
3. Savane arborée et savane arbustive (Anogeissus leiocarpus, Butyrospermum paradoxum, Daniellia oliveri, Isobertia doka, Parkia biglobosa).
4. Savane arborée et savane arbustive à forte emprise agricole (dérivée de 2 et 3).
5. Galerie forestière (Diospyros mespiliformis, Ficus spp., Khaya senegalensis).
6. Savane arborée et savane arbustive saxicole (Butyrospermum paradoxum, Combretum spp.).
7. Savane boisée, savane arborée et savane arbustive des zones saisonnièrement inondées (Terminalia spp., Acacia sieberiana, Mitragyna inermis).

II. Zone sèche littorale (850-1 300 mm, mois secs 3-4)

8. Forêt semi-décidue et forêt décidue généralement dégradées (Azelia africana, Chlorophora excelsa, Triplochiton scleroxylon, Ceiba pentandra).
9. Savane boisée (Ceiba pentandra, Chlorophora excelsa, Daniellia oliveri).
10. Savane arborée et savane arbustive (Daniellia oliveri, Elaeis guineensis, Lophira lanceolata).
11. Mosaïque de cultures et jachères sur Terre de Barre (Elaeis guineensis).
12. Mosaïque de cultures et jachères à dominance d'espèces forestières (Chlorophora excelsa, Antiaris africana, Triplochiton scleroxylon).
13. Mosaïque de cultures et de savane arbustive (Lophira lanceolata).
14. Galerie forestière (Cola cordifolia, Ceiba pentandra, Vitex doniana, Elaeis guineensis).
15. Formations riveraines: reliques de forêt semi-décidue des vallées du Mono et Ouémé (Triplochiton scleroxylon); prairies à Mitragyna mespiliformis saisonnièrement inondées.
16. Formations marécageuses: prairies à Raphia gigantea; rares mangroves en milieu salé (Rhizophora racemosa, Avicennia africana).
17. Plantation de Teck (Tectona grandis).
18. Plantations de palmier à huile (Elaeis guineensis).
19. Plantations de cocotier (Cocos nucifera).

III. Zone très sèche continentale (800-1 000 mm, mois secs 6-7)

20. Savane boisée (Anogeissus leiocarpus, Combretum spp.).
21. Savane arborée et savane arbustive (Anogeissus leiocarpus, Combretum spp., Acacia spp., Balanites aegyptiaca, Ziziphus mauritiana).
22. Savane arborée et savane arbustive à forte emprise agricole (dérivée de 20 et 21).
23. Galerie forestière (Anogeissus leiocarpus, Khaya senegalensis, Ficus spp.).
24. Savane arborée et savane arbustive saxicole (Adansonia digitata, Combretum spp.).
25. Formations riveraines du Niger et Pendjari: savane arbustive saisonnièrement inondée (Acacia sieberiana, Acacia seyal, Tamarindus indica, Balanites aegyptiaca, Borassus aethiopum).
26. Surfaces sans végétation.

Répartition des stations dans les zones écologiques en fonction des critères climatiques

I ZONE SECHE CONTINENTALE				II ZONE SECHE LITTORALE				III ZONE TRÈS SECHE CONTINENTALE			
STATIONS	Pluvio- métré	ISP	Nombre de jours de pluie	STATIONS	Pluvio- métré	ISP	Nombre de jours de pluie	STATIONS	Pluvio- métré	ISP	Nombre de jours de pluie
BANIKOARA	1027	426	65	ABOMEY	1230	813	104	MALANVILLE	840	417	55
BANTE	1260	714	82	ADJOHOUN	1200	633	75				
BASSILA	1200	714	74	ALLADA	1200	543	75				
BEMEREKE	1260	525	77	APLAHOUÉ	1150	633	72				
BETEROU	1200	615	83	ATHIEME	1100	633	80				
BIRNI	1400	525	94	BOHICON	1200	633	75				
BOUKOMBE	1100	435	83	BOPA	1000	543	68				
DASSA ZOUME	1230	714	75	COTONOU	1400	552	92				
DJOUGOU	1380	714	82	DOBO	1200	723	79				
I.N.A. (Nord NDALI)	1291	705	91	GRAND POFO	969	543	56				
KALALE	1230	525	70	KETOU	1200	723	79				
KANDI	1080	426	92	NIACULI	1200	723	98				
KEROU	1170	525	89	OUIDAH	1300	543	82				
KOUANDE	1250	525	79	POBE	1250	633	110				
LONKLI	1230	732	72	PORTO NOVO	1500	732	99				
NATITINGOU	1250	624	116	SAKETE	1350	723	82				
NIKKI	1160	525	67	TOFFO	1060	714	73				
OKPARA	1250	714	81	ZAGNANADO	1170	723	68				
PARAKOU	1300	624	87								
SAVALOU	1270	714	78								
SAVE	1200	714	108								
SEGBANA	1100	525	74								
TANGIETA	1200	615	86								
TCHACOUROU	1200	624	105								
TOUI	1160	624	87								
(Altitude $\leq$ 500 m)				(Altitude $\leq$ 300 m)				(Altitude 165 m)			

ISP = Indices des saisons pluviométriques.

Premier chiffre: nombre de mois $P > 100$ mmDeuxième chiffre: nombre de mois P entre 30 et 100 mmTroisième chiffre: nombre de mois secs $P < 30$ mm

FACTEURS ECOLOGIQUES

FACTEURS ECOLOGIQUES	I ZONE SECHE CONTINENTALE	II ZONE SECHE LITTORALE	III ZONE TRES SECHE CONTINENTALE
Pluviométrie	1000 à 1400 mm	850 à 1300 mm (jusqu'à 1500 mm dans le sud-est du Bénin)	800 à 1000 mm
Durée de la saison sèche	4 à 5 mois continus	3 à 4 mois discontinus	6 à 7 mois continus
Nombre annuel de jours de pluie	90 à 110	70 à 120	60 à 70
Régime	Tropical, sub-humide de type soudano-guinéen	Subéquatorial	Tropical sec de type sahélo-soudanais
Température moyenne annuelle	25°	25°	25°
Moyenne des mois les plus chauds	28°	28°	28°
Etat hygrométrique (humidité atmosphérique)	55 à 70%. Mois secs entre 30 et 40%, pas inférieur à 30%	> 80%. Pas inférieur à 75%	< 50%. Moyenne annuelle toujours < 75%
<u>SOLS</u>	Sols ferrugineux lessivés: - à l'est: sur roches quartzitiques - au centre: sur granito-gneiss - à l'ouest: sols faiblement ferrallitiques sur gneiss et migmatites. ATAKORA: sols minéraux bruts d'érosion et lithosols sur roches diverses. Ouest de l'Atakora: sols ferrugineux lessivés sur grès et schistes de l'Oti.	Du sud au nord: - sables littoraux - sols ferrallitiques sur sédiments argilo-sableux - vertisols: couches superficielles finement structurées sur sédiments argileux - sols ferrallitiques sur sédiments sablo-argileux. Alluvions: vallées du Mono, Kouffo, Ouémé.	Sols ferrugineux lessivés: - au sud-ouest: sur granito-gneiss - au sud-est: sur sédiments sablo-argileux. Sols à tendance ferrugineuse sur roches diverses de part et d'autre de la rivière Alibori. Au nord: sols ferrugineux lessivés sur sédiments sablo-argileux, en inclusion sols minéraux bruts sur cuirasse ancienne. Alluvions dans la zone d'inondations du Niger.

DOMINANTES FLORISTIQUES DES FORMATIONS CARTOGRAPHIÉES
RESUME DES FICHES DE TERRAIN

FORMATIONS VEGETALES	I ZONE SECHE CONTINENTALE	II ZONE SECHE LITTORALE	III ZONE TRÈS SECHE CONTINENTALE
Forêt semi-décidue et décidue, forêt dégradée (dérivée des types précédents) 1.8.	Antiaris africana Celtis soyauxii Celtis zenkeri Chlorophora excelsa Cola spp. Khaya senegalensis	Antiaris africana Ceiba pentandra Chlorophora excelsa Cordia cordifolia Triplochiton scleroxylon	
Forêt claire (Zone II), Savane boisée 2.9.20.	Anogeissus leiocarpus Daniellia oliveri Isoberlinia doka	Ceiba pentandra Chlorophora excelsa Daniellia oliveri	Anogeissus leiocarpus Combretum glutinosum Combretum sp.
Savane arborée, savane arbustive 3.10.21.	Azizelia africana Butyrospermum paradoxum Ceiba pentandra Parkia biglobosa Uapaca somali <u>Atakora:</u> Lannea macrocarpa Parkia biglobosa Prosopis africana Terminalia macroptera	Elaeis guineensis Lophira lanceolata Parkia biglobosa	Capparis spp. Artusites épineux: Acacia ataxacantha Acacia seyal Acacia sieberiana Balanites aegyptiaca Ziziphus mauritiana
Savane arborée et arbustive à forte emprise agricole. 4.11.12.13.22.	Azizelia africana Butyrospermum paradoxum Parkia biglobosa	Albizia spp. Antiaris africana Ceiba pentandra Chlorophora excelsa Elaeis guineensis Lophira lanceolata	Adansonia digitata Borassus aethiopicum Butyrospermum paradoxum Parkia biglobosa

Les numéros se réfèrent aux classes de la légende (Annexe 1).

Dominantes floristiques

FORMATIONS VÉGÉTALES	I ZONE SECHE CONTINENTALE	II ZONE SECHE LITTORALE	III ZONE TRÈS SECHE CONTINENTALE
Formations édaphiques Galeries forestières. 5.14.23.	Anogeissus leiocarpus Bridelia ferruginea Chlorophora excelsa Cola sp. Dialium guineensis Diospyros mespiliformis Khaya senegalensis Pterocarpus santaloides Vitex doniana <u>Thalwegs boisés de l'Atakora:</u> Anogeissus leiocarpus Diospyros mespiliformis Khaya senegalensis Nauclea latifolia Parkia biglobosa	Ceiba pentandra Cola cordifolia Cola laurifolia Dialium guineensis Elaeis guineensis Vitex doniana	Anogeissus leiocarpus Ficus capensis Khaya senegalensis Pterocarpus santaloides
Formations saxicoles arborées et arbustives. 6.24.	Burkea africana Butyrospermum paradoxum Combretum spp. Isobertlinia dalzielii Lophira lanceolata		Adansonia digitata Combretum spp. Detarium spp.

Dominantes floristiques

FORMATIONS VEGETALES	I ZONE SECHE CONTINENTALE	II ZONE SECHE LITTORALE	III ZONE TRES SECHE CONTINENTALE
Zones périodiquement inondées 7.15.25.	En savanes boisées et arborées: Acacia sieberiana Mitragyna inermis Tamarindus spp. Terminalia spp. Au nord-ouest sur les berges inondables d'affluents de la Pendjari: Anogeissus leiocarpus associé à Combretum nigricans	Formations forestières riveraines: Antiaris africana Ceiba pentandra Chlorophora excelsa Dialium guineensis Savanes à Mitragyna inermis	En savane arborée: Acacia seyal Acacia sieberiana Balanites aegyptiaca Tamarindus indica
Savane arbustive et her- beuse (sol marécageux) 16.		Savanes à: Echinochloa pyramidalis Paspalum vagitatum Raphia gigantea Milieu salé: Avicennia africana Rhizophora racemosa	Arbustes de la vallée du Niger (non identifiés)

ANNEXE 4

PROCEDURES DES RECONNAISSANCES AERIENNES: Enregistrement et utilisation des observations

Le survol aérien considéré non comme une simple reconnaissance au cours de laquelle on ne récolte que des impressions fugitives mais comme une phase essentielle de la télé-interprétation, permet de connaître ou de se remémorer l'aspect physiognomique des types de végétation et de recueillir en vue d'une exploitation immédiate ou future des informations actuelles et objectives.

Les survols permettent d'enregistrer des observations sur la nature de la couverture végétale, sa densité, la hauteur des strates ainsi que certains aspects phénologiques de la végétation ligneuse pouvant caractériser des types de forêt, d'identifier des essences et des peuplements ainsi que le genre des sites, toutes informations qui doivent contribuer à établir une classification précise. Cela implique une vision nette et étendue du paysage et des éléments qui le composent, conditions subordonnées aux qualités de l'appareil (visibilité, vitesse, altitude) et aux conditions atmosphériques.

PREPARATION

Choix de l'appareil d'observation

L'appareil doit permettre, l'observateur étant installé à la place du co-pilote, une vision totale du paysage vers la droite qu'il observera le plus souvent mais aussi vers la gauche et l'avant. Les avions convenant le mieux sont ceux dits à "ailes hautes", celles-ci étant dispersées au-dessus des yeux de l'observateur. Un hélicoptère convient également très bien.

L'altitude de vol de l'avion au-dessus du sol peut varier en fonction des objectifs que l'on s'est fixés. L'observation physiognomique de la végétation, hauteur, densité du couvert, sol et couverture du sol, etc. doit se faire par temps clair à une altitude voisinant 300 mètres. L'identification d'espèces exige des altitudes plus basses (jusqu'à 50 mètres environ) mais compatibles avec le relief.

La vitesse convenable peut varier de 180 km à 220 km/heure (3 km à la minute) mais doit être maintenue constante pendant la durée du vol. L'enregistrement des observations est facilitée lorsque l'appareil a une bonne stabilité.

Plan de vol

Il est établi par l'observateur-interprète qui doit tenir compte en premier lieu du rayon d'action de l'appareil qui conditionne la longueur des vols depuis la base de départ. Compte tenu de la situation géographique des zones d'étude et des lieux d'implantation des terrains d'atterrissage offrant des possibilités de ravitaillement en kérosène, les vols peuvent être des circuits ou aller de ville à ville.

Ces impératifs logistiques étant connus, on trace sur une carte - à petite échelle, au 500 000ème par exemple - l'itinéraire que l'on se propose de suivre. Chaque ligne de vol - transect - qui le compose doit partir d'un point de la carte remarquable au sol (carrefour de routes, confluent de rivières, méandre caractéristique, agglomération, etc.) pour aboutir à un autre point identifiable sans ambiguïté. On relève la longueur des lignes de vol, leur direction et l'itinéraire est retranscrit sur un calque.

Si la reconnaissance exige plusieurs vols, ceux-ci sont numérotés suivant l'ordre chronologique dans lequel on désire les réaliser. A chaque changement de cap, les points identifiables au sol seront mis en évidence sur le calque de même que l'on portera les principaux accidents géographiques - relief, hydrographie - et la planimétrie importante.

ENREGISTREMENT DES OBSERVATIONS

Utilisation du magnétophone à cassettes

Au moment du décollage, on met en marche le magnétophone et on enregistre l'heure à la minute près. A la fin de la procédure de décollage, lorsque le compas de bord indique la direction du premier transect à la verticale du point de repère au sol, on enregistre de nouveau le temps ainsi que le cap, la vitesse, l'altitude de l'avion que l'on lit sur les instruments du tableau de bord. L'on commence alors les commentaires sur les paysages survolés. On regarde de temps en temps le tableau de bord et l'on enregistre avec l'heure, le cap et la vitesse.

L'avantage de cette procédure est que tous les détails caractéristiques observés sont enregistrés au fur et à mesure que le sol défile. L'inconvénient est qu'à moins d'utiliser deux magnétophones, il existe un temps mort pendant le changement de cassette.

En fin de vol, au bureau, avant de porter sur une carte les informations recueillies, il est nécessaire d'écouter les bandes d'enregistrement et de transcrire sur des fiches, de manière simplifiée mais sans oublier l'essentiel, les observations. C'est une opération longue. Le temps nécessaire à la retranscription est supérieur à la durée du vol, ce qui présente aussi un inconvénient dans la procédure.

Enregistrement manuscrit des observations

Les observations sont inscrites sur des fiches préparées à l'avance. Des colonnes sont réservées pour l'heure, le cap, la vitesse, l'altitude et pour les observations faites à gauche et à droite de l'appareil. L'heure de décollage est inscrite à la minute près.

Afin d'inscrire rapidement les informations essentielles et pour éviter de décrire les paysages survolés avec de longues phrases, on compose au moment de l'établissement des fiches un répertoire d'abréviations se rapportant aux formations végétales, aux types d'occupation du sol, au relief pouvant être rencontrés au cours des survols.

Pour obtenir une bonne précision lors du report cartographique des observations, il est indispensable d'inscrire l'heure à la minute près, toutes les cinq minutes environ et répéter assez fréquemment le cap suivi et la vitesse. L'avantage est que le déchiffrement des observations après le vol est immédiat et il est possible d'effectuer les reports sur carte dans le meilleur délai.

L'inconvénient est que l'inscription des observations doit être faite fréquemment car elle peut être interrompue du fait de l'instabilité de l'avion lorsqu'il traverse des turbulences. La description des paysages est moins complète que celle enregistrée sur bandes magnétiques. Avec l'une et l'autre méthode l'attention de l'observateur doit être soutenue pendant toute la durée du vol.

Report des observations sur une carte

Après avoir écouté et retranscrit les observations enregistrées sur bandes magnétiques ou contrôlé les fiches manuscrites, on reporte sur carte à l'échelle la mieux adaptée pour l'étude à réaliser, les observations faites.

On vérifie que le tracé des lignes de vol sur la carte correspond en direction et en distance à l'itinéraire réellement parcouru par l'avion, compte tenu des points de repère de début et de fin de transects. La longueur des transects mesurée sur la carte doit correspondre au produit de la vitesse horaire de l'avion multipliée par la durée du vol.

On divise alors les transects en segments d'une valeur de deux minutes correspondant pour une vitesse moyenne horaire de 180 km à une distance de 6 km; soit à l'échelle de 1:500 000 12 mm et à l'échelle de 1:200 000 3 cm.

Un calque est superposé ensuite à la carte sur lequel, après les croisillons des méridiens et parallèles, des principaux accidents géographiques et des détails planimétriques importants, on reporte dans les intervalles de deux minutes les informations relevées sur les fiches de vol, de part et d'autre du transect si les observations ont été faites des deux côtés de l'avion.

Si les survols aériens sont réalisés au-dessus de territoires non cartographiés, il est toujours possible d'établir un croquis, à une échelle donnée, à partir des paramètres de vol.

ANNEXE 5

INTERPRETATION DES TYPES DE VEGETATION EN FONCTION DES COMBINAISONS DES CANAUX SPECTRAUX

Observations simultanées sous stéréoscope de deux canaux d'une même scène, N° 2339-09240 du 27.12.75. Films positifs - Echelle 1:1 million

Canaux observés

- 4 - 5 Peu d'informations sur le 4. Le canal 5 sert de base à l'analyse des taches. L'interprétation est satisfaisante. Cependant le canal 4 permet, lorsqu'il est de bonne qualité - exempt de voile de brume - de différencier les cultures actuelles des jachères qui paraissent avec les cultures en activité sur le canal 5.
- 4 - 6 Peu de détails sont visibles sur le canal 4. L'interprétation est le résultat de l'analyse du canal 6, mais est moins bonne que celle obtenue par les canaux 4 et 5.
- 4 - 7 Plus de détails et meilleures informations sur le canal 7, qui confirment celles du canal 6 moins nettes. L'interprétation est moins fine que celle des canaux 4 - 5.
- 5 - 6 Ces deux canaux permettent une bonne analyse des détails. Les informations apportées par chaque canal se complètent. Le dessin du chevelu hydrographique est très net. Les zones culturelles se distinguent parfaitement et l'on obtient également une bonne précision dans le dessin des contours des autres unités physiologiques. Deux classes de densité du couvert peuvent être différenciées assez sûrement par combinaison, en vision binoculaire, des deux tonalités:
- couvert assez dense: gris moyen (gris sombre + gris) = savane boisée
 - couvert moyen à faible: gris plus clair (gris moyen + gris) = savane arborée et arbustive. Ce dernier type est souvent présent sur les interfluvés où la réflectance du sol et de la couverture herbacée semblent intervenir davantage dans le canal 6.
- 5 - 7 Très bonne analyse. Trois classes de densité du couvert peuvent être distinguées:
- Densité forte: gris moyen (gris sombre + gris) = savane boisée
 - Densité moyenne: gris plus clair (gris moyen + gris) = savane arborée
 - Densité faible: gris clair (gris clair + gris) = savane arbustive, peu arborée, couverture herbacée presque continue.
- 6 - 7 Bonne analyse mais précision moyenne dans le dessin des contours des unités culturelles qui parfois se confondent avec la savane limitrophe. Deux classes de densité du couvert peuvent être distinguées, comme dans la combinaison 5 - 6.

Observations simultanées sous stéréoscope de la composition colorée (C.C.) et des autres canaux d'une même scène, N° 2339-09240 du 27.12.75. Films positifs - Echelle 1:1 million

Canaux observés

- C.C. - 4 Le canal 4 très sombre n'apporte pas d'informations complémentaires. L'analyse, bonne, est réalisée à l'aide de la composition colorée.
- C.C. - 5 Le canal renforce le tracé du réseau hydrographique et précise la situation des formations ripicoles bien distinctes sur la composition colorée.
Les contours des unités physionomiques peuvent être dessinés avec précision. Les limites des massifs montagneux et des inselbergs sont nettes. Malgré une dominante verdâtre (brûlis) les grands types physionomiques apparaissent:
- couvert assez dense: brun violet = savane boisée
 - couvert moyen: violet clair = savane arborée et arbustive
 - couvert de faible densité: ponctuation de violet plus clair sur un fond légèrement bleuâtre (socle granitique sous un sol peu profond) = savane arbustive légèrement arborée.
- C.C. - 6 Ces deux canaux combinés mettent en évidence le relief. On obtient également une bonne précision dans le dessin des contours des unités physionomiques.
- C.C. - 7 Mêmes remarques que pour le couple précédent. Cependant des plages très sombres du canal 7 se superposent à la composition colorée en atténuant quelques détails.

Relativement à l'étude de la végétation, la combinaison du canal 5 et de la composition colorée apportent le maximum d'informations. Pour compléter et préciser l'interprétation, faire ressortir le réseau hydrographique et souligner le relief, le canal 7 peut être utilisé avec profit.

En l'absence de la composition colorée les films positifs des canaux 5 et 7 qui se complètent parfaitement permettent une très bonne interprétation.

ANNEXE 6

CLÉS D'INTERPRÉTATION DES IMAGES LANDSAT
ETUDE DE LA SCÈNE 27.12.75 2339 - 09245

Image Landsat - Bénin

Apparence des unités physiologiques sur les films au 1:1 million des canaux 4-5-6-7 et la composition colorée.

Saison : sèche
Couverture imageuse: 40%
Qualité de l'image : moyenne
Composition colorée: 1:250 000

(couvre la même région que la scène 1.2.76 2375 - 09240)

Canaux MSS	4	5	6	7	Composition colorée
Unités physiologiques Formations végétales					
Forêt	(voile de brume - inexploitable)	(voile de brume) noir	gris moyen	gris moyen	brun rouge
Forêt dégradée		gris sombre	gris clair	gris clair	rouge vif
Savane boisée		gris sombre	gris	gris	brun
Savane arborée arbustive		gris sombre	gris	gris	gris verdâtre ponctué de brun
Cultures/jachères		gris	gris ponctué de clair	gris ponctué de clair	brun grisâtre faiblement ponctué de brun rouge
Cultures sous palmiers		gris sombre	gris clair	gris clair	rouge à rouge clair suivant la densité du couvert des couronnes. Les plantations apparaissent rouges.
Galerie forestière		noir	gris clair	gris clair	brun rouge
Zone périodiquement inondée	(images)				
Zone marécageuse	(images)				
Agglomérations		gris	ne se distinguent pas	ne se distinguent pas	gris verdâtre

Image Landsat - Bénin

ETUDE DE LA SCENE 1.2.76 - 2375 - 09240

Apparence des unités physionomiques sur les films au 1:1 million des canaux 4-5-6-7 et la composition colorée.

Saison : sèche
Couverture nuageuse: 10%
Qualité de l'image : médiocre
Composition colorée: 1:500 000: interprétée
(Couvre la même région que la scène 27.12.75 2339 - 09245)

Unités physionomiques Formations végétales	Canaux MSS	4	5	6	7	Composition colorée
Forêt	(voile de brume sur la visualisation - inexploitable)		gris sombre	gris	gris	brun rouge foncé
Forêt dégradée			gris moyen	gris clair	gris clair	brun rouge clair
Savane boisée			gris moyen	gris clair	gris clair	brun clair
Savane arborée			gris moyen	gris moyen	gris moyen	Fond gris verdâtre ponctué et tacheté de brun très clair
Formation saxicole			gris	- versant exposé à l'est: gris clair - versant ouest (non éclairé): gris à gris sombre	- versant est: gris clair - versant ouest: gris à gris sombre	- versant est: brun clair à rose - versant ouest: gris verdâtre, sombre
Cultures/jachères			gris moyen ponctué de clair	gris moyen ponctué de clair	gris moyen ponctué de clair	gris verdâtre ponctué de clair
Galerie forestière			gris sombre	gris	gris	brun
Agglomérations			gris clair	ne se distinguent pas	ne se distinguent pas	gris verdâtre clair

Apparence des unités physiologiques sur les films au 1:1 million des canaux 4-5-6-7 et la composition colorée.

Saison : sèche

Couverture nuageuse: néant

Qualité de l'image : bonne

Composition colorée: 1:500 000: interprétée

(couvre la même région que la scène 13.6.73 1325 - 09374)

Unités physiologiques Formations végétales	Canaux MSS	4	5	6	7	Composition colorée
Savane boisée	ne se distingue pas	ne se distingue pas	gris moyen	gris	gris	brun - Petite tache au nord-ouest de Malanville, en limite de zone inondable
Savane arborée et arbustive	gris moyen	gris moyen	gris très clair	gris	gris	brun violet clair
Cultures	gris clair	gris très clair	gris très clair	gris clair	gris clair	taches gris jaunâtre clair, ponctuées de brun violet taches jaunâtres plus claires: zones de pâturages, traces de piétinement en inclusion dans les cultures
Erosion	gris	gris clair	gris clair	gris	gris clair; un peu plus sombre que les cultures	taches gris jaunâtre clair généralement sur flancs de vallées
Galerie forestière	gris sombre	noir	noir	gris moyen	gris moyen	brun
Formation saxicole	gris sombre	gris moyen à sombre (moins sombre que les brülis)	gris moyen à sombre (moins sombre que les brülis)	gris moyen	gris sombre sur massifs granitiques plus clair sur affleurements latéritiques	verdâtre: sombre sur gneiss; vert bouteille sur latérite. Fond tacheté de brun clair
Formation arbustive marécageuse	ne se distingue pas	ne se distingue pas	ne se distingue pas	gris clair	gris clair	rouge vif

Image Landsat - Bénin

ETUDE DE LA SCENE 13.6.73 1325 - 09374

Apparence des unités physiologiques sur les films au 1:1 million des canaux 4-5-6-7 et la composition colorée.

Saison : pluvieuse
Couverture nuageuse: moins de 5%
Qualité de l'image : bonne
Composition colorée 1:500 000: examinée

(couvre la même région que la scène 14.1.76 2357 - 09233)

Canaux MSS	4	5	6	7	Composition colorée
Unités physiologiques Formations végétales					
Savane boisée	noir	noir	gris moyen	gris moyen	brun
Savane arborée et arbustive	gris moyen	gris moyen	gris	gris	rose à brun
Cultures	gris clair	gris clair	gris clair	gris clair	rouge ponctué de taches jaunâtres; plages jaunâtres ponctuées de rouge; zones de pâturage et traces de piétinement en inclusion dans les cultures
Erosion	gris très clair	gris très clair piqué de blanc	gris très clair	gris très clair	blanc jaunâtre
Galerie forestière	noir	noir	gris	gris clair	brun
Galerie forestière	gris moyen à sombre	gris sombre à noir	gris à gris sombre (sur granit)	gris moyen à noir; plateaux gneissiques à sol profond: gris	vert à vert foncé (granit-gneiss) vert plus clair (latérite) ponctué et tacheté de rose
Formation saxicole	ne se distingue pas	ne se distingue pas	ne se distingue pas	ne se distingue pas	ne se distinguent pas
Formation arbustive marécageuse	gris moyen	gris sombre tacheté de gris (flots de sable)	gris sombre tacheté de clair	gris sombre tacheté de clair	vert clair (période d'étiage)
Zone inondable					

Image Landsat - Bénin

ETUDE DE LA SCENE 27.12.75 2339 - 09240

Apparence des unités physionomiques sur les films au 1:1 million des canaux 4-5-6-7 et la composition colorée.

Saison : sèche
 Couverture nuageuse: 10%
 Qualité de l'image : médiocre
 Composition colorée: 1:500 000: interprétée

Unités physionomiques Formations végétales	Canaux MSS					Composition colorée
	4	5	6	7		
Savane boisée	gris très sombre	gris sombre	gris	gris	gris	brun violet dense
Savane arborée	gris sombre	gris moyen	gris	gris	gris	violet clair sur fond verdâtre (brûlis)
Formation saxicole	gris moyen	gris moyen	gris (versant est) gris sombre (versant ouest)	gris (relief mieux souligné que MSS 6)	gris	versant est: brun violet et à violet clair
Cultures/jachères	gris clair sur fond gris sombre	taches et ponctuation claires sur fond gris moyen	taches et ponctuation claires sur fond gris	taches et ponctuation claires sur fond gris	gris	gris violet clair sur fond verdâtre
Galerie forestière	gris très sombre peu net	gris sombre	gris	gris plus clair que MSS 6	gris	brun

Image Landsat - Bénin

ETUDE DE LA SCENE 15.1.76 2358 - 09291

Apparence des unités physiologiques sur les films au 1:1 million des canaux 4-5-6-7 et la composition colorée

Saison : sèche

Couverture imageuse: néant

Qualité de l'image : bonne

Composition colorée 1:500 000: interprétée

Unités Canaux MSS physiologiques Formations végétales	4	5	6	7	Composition colorée
Savane boisée	gris moyen	gris moyen	gris clair	gris clair	brun
Savane arborée et arborescente (épineux)	gris moyen	gris	gris moyen	gris moyen	brun clair
Galerie forestière	gris foncé	noir à gris foncé	gris	gris	brun clair. Sur sol inondable: brun foncé thalwegs de l'Atakora: brun
Formation saxicole	Atakora: gris bombements, affleu- rements: gris sombre	gris clair gris sombre	gris à gris moyen gris à gris sombre	gris moyen noir	brun clair à rose
Cultures	gris clair	gris clair	gris clair	gris clair	jaune clair légère- ment rosâtre
Erosion	gris clair	gris clair	gris clair	gris clair	blanc jaunâtre. Forme linéaire, parfois digitée, dans les vallées
Zone inondable	gris moyen	gris sombre	gris sombre	gris sombre	vert sombre

Image Landsat - Bénin

ETUDE DE LA SCENE 15.1.76 . 2358 - 09294

Apparence des unités physiionomiques sur les films au 1:1 million des canaux 4-5-6-7 et la composition colorée

Saison : sèche
Couverture nuageuse: néant
Qualité de l'image : bonne
Composition colorée 1:500 000: interprétée

Unités physiionomiques Formations végétales	4	5	6	7	Composition colorée
Savane boisée	gris foncé	noir	gris clair	gris clair	brun rouge
Savane arborée	gris sombre	gris sombre	gris moyen	gris moyen	brun clair
Galerie forestière	gris foncé	noir	gris	gris; moins sombre que MSS 6	brun
Formation saxicole	gris sombre	gris sombre	gris clair	gris clair	fond grisâtre ponctué de brun clair de densité variable
Cultures	gris clair	gris clair	gris clair	gris clair	gris verdâtre tacheté de plages plus claires brillantes
Formation de l'Atakora					
Savane boisée	gris moyen	gris sombre	gris	gris	brun
Savane arborée et arborescente	gris moyen	gris	gris clair	gris clair	brun clair

COMMENTAIRES SUR L'INTERPRETATION DES DIFFERENTES IMAGES LANDSAT

Scène 2339-09245 du 27.12.75

Galleries forestières

Quelques sections de ces formations ripicoles ont une réflectance (rouge), particulièrement sur la rivière Zou, alors que dans cette région ces formations paraissaient généralement en brun.

Décembre est le début de la saison sèche, mais les vallées sont encore partiellement inondées. La végétation ligneuse apparaît alors rouge foncé ponctuée de bleu (absence de chlorophylle). Ces sections rouges peuvent être dues soit à une formation ripicole sempervirente soit à une formation semi-décidue sur bombement exondé.

Teckeraie

Formation forestière décidue. En plantation seulement.

La teckeraie d'Agrimey apparaît sur cette scène en brun verdâtre tacheté de rose. Son aspect a des analogies avec les formations limitrophes, cultures avec palmiers, bosquets dégradés et la limite de la plantation n'est pas nettement perceptible. Sur la scène du 1.2.76, 2375-09243, la saison sèche sévissant depuis deux mois, la teckeraie apparaît ponctuée de brun sur fond verdâtre. A ce moment-là, les couronnes sont presque totalement dépouillées de leurs feuilles.

Une visite à cette plantation, le 6.7.1978, a permis de remarquer:

- un peuplement déjà ancien composé d'arbres de belle venue, fûts droits, cylindriques; tous les arbres sont en feuilles et les couronnes jointives;
- le sous-bois arbustif moyennement dense, conserve ses feuilles en saison sèche;
- une litière assez épaisse recouvre un sol brun noirâtre, humide. Les feux saisonniers ne pénètrent pas la plantation.

La signature spectrale de la teckeraie en saison sèche semblerait provenir de la réflectance du sous-bois arbustif (taches rosâtres) et du sol (tonalité dominante verdâtre).

Scène 2375-09243 du 1.2.76 (recouvre la même zone que la scène précédente)

Composition colorée au 500 000ème sur papier. Couverture nuageuse: 50%. La saison sèche sévit depuis deux mois.

La partie sud-est, Porto-Novo - Cotonou, est dégagée. On distingue une petite partie du littoral, à l'est et à l'ouest de Cotonou, qui a une apparence brun-grisâtre engendrée par la présence d'un sol siliceux hydromorphe, à forte réflectance, supportant des plantations de Cocos nucifera à couvert clair.

- la forêt semi-décidue de la Lama apparaît brun, légèrement bleuâtre
- la forêt dégradée qui l'entoure, rouge violacé
- la savane boisée, rose.

L'apparence des unités physionomiques de cette scène est différente de l'enregistrement de décembre où les zones boisées semblent plus étendues.

Les brûlis de février sont plus étendus et, bien entendu, seuls les flots boisés denses, à couverture herbacée discontinue, apparaissent. Ce sont ces taches qui ont été cartographiées, l'interprétation ayant été réalisée à l'aide de cette image.

Zones inondables et zones marécageuses

Ces zones qui occupent sur une grande longueur le cours inférieur de l'Ouémé en amont de Cotonou, les bras lagunaires de la région de Ouidah et le bassin inférieur du Mono, sont couvertes par des nuages sur l'image et n'ont pas pu être représentées par interprétation directe.

Les informations portées sur les cartes I.G.N. à l'échelle de 1:200 000, issues de l'interprétation des photographies aériennes 1952/1954, ne correspondent pas à la réalité ainsi que les reconnaissances sur le terrain l'ont montré. La carte au 500 000ème, schématisation de ces documents, est entachée des mêmes erreurs.

Il a été effectué une pénétration en zone marécageuse de l'Ouémé, au nord d'Abomey-Calavi, à 2 km au nord d'Assintu. L'on remarque:

- sur une largeur de 700 m à partir de la route, des terrains exondés occupés par des cultures et des jachères. Ces dernières ont l'aspect de fourrés formés d'arbustes entremêlés à feuilles persistantes. Cultures et jachères sont parsemées d'arbres parfois d'espèces forestières: Chlorophora, Ceiba, ces derniers souvent groupés près des villages, mais également de palmiers à huile (Elaeis guineensis).
- à l'extrémité de ce premier cheminement, le terrain s'incline fortement. Sur 150 mètres, il est aussi boisé que précédemment avec présence de villages. La déclivité est alors plus faible, mais progressive jusqu'à la zone marécageuse au sol de boues noires, occupé par Raphia sp., bambous et herbes. Au delà de cette zone marécageuse qui s'étend sur environ 400 mètres, on aperçoit les eaux libres.

En direction du sud-est et du nord-est des bombements apparaissent où sont installés principalement Elaeis guineensis.

Au nord d'Abomey Calavi, à l'ouest de la route principale, une savane boisée sur la carte au 200 000ème est, sur le terrain, une palmeraie.

Scène 2375-09240 du 1.2.76

Forêt semi-décidue

Elle est caractérisée par la présence de Antiaris africana, Khaya senegalensis, Chlorophora excelsa, Cola spp.

D'apparence brun rouge foncé, les massifs forestiers à couvert fermé se distinguent des massifs dégradés de teinte plus claire.

La composition colorée au 500 000ème sur papier de médiocre qualité ne permet pas cette distinction qui ne peut être réalisée qu'à l'aide du film positif à 1:1 million de bien meilleure définition.

Ces petits massifs, le plus généralement situés sur des crêtes secondaires peu élevées, s'échelonnent du sud-ouest du Bénin au nord-ouest sans dépasser la latitude de Djougou.

Galerias forestières

Malgré leur faible largeur, rarement supérieure à 100 mètres, elles apparaissent distinctement sur les films. Leur représentation sur la carte est uniformément de 15/100ème de millimètre. Beaucoup de petites vallées ont conservé leurs galeries alors que les rivières importantes, telle que l'Ouémé, ne portent bien souvent sur leurs rives que des sections boisées dégradées.

Formations saxicoles

Ce sont des formations arborées et arbustives sur inselbergs granitiques en général orientés nord-sud dans la scène. Le relief est souligné par la différence d'éclairement des versants est et ouest. La signature de la végétation (rosâtre sur les versants éclairés) n'est perceptible que sur les flancs de massifs importants.

Scène 2339-09240 du 27.12.75

L'image au 500 000ème de composition colorée est très médiocre. Une interprétation objective ne peut être réalisée sans l'analyse des films positifs à l'échelle de 1:1 million.

Dans cette scène, il n'a pas été relevé la présence de massifs de forêt de dimensions cartographiables. Les formations vallicoïdes assez nombreuses sont généralement dégradées. Leur faible netteté sur l'image de mauvaise qualité ne permet pas leur représentation précise.

Scène 1325-09374 du 13.6.73 et 2357-09233 du 14.1.76

Zone d'inondation du Niger

Sur la scène du 13.6.73, elle apparaît vert clair et les bombements sableux jaunâtres. Les limites de la zone inondable ne sont pas nettes. En cette période d'étiage, le lit mineur, bleu clair, se distingue parfaitement, mais les nombreux bras qui sillonnent le lit d'inondation, que l'on voit sur la scène de janvier, ne sont plus visibles en juin.

Sur la scène du 14.1.76, période de crue du fleuve, la zone d'inondation - vert sombre - est nettement délimitée. Le lit principal et les bras secondaires apparaissent en bleu sombre.

Savane arbustive marécageuse: identifiée à l'aide des photographies aériennes de la mission Kenting; échelle 1:80 000; prises de vues: décembre 1974, février 1975. Ces groupements d'arbustes apparaissent en rouge sur la scène de janvier 1976, mais ne se distinguent pas sur la scène de juin 1973.

Cultures

Sur la scène de juin, où la végétation très active apparaît avec une dominante rougeâtre, la limite des zones culturales et de la savane est imprécise. En janvier, la différenciation est réalisée sans ambiguïté.

Savane

L'examen des photographies et les observations aériennes montrent que, dans l'ensemble, cette région peut être traitée en savane arborée et arbustive parsemée de plages boisées.

L'image de janvier, malgré la densité des brillis, permet cette distinction alors que la scène de juin à dominante rouge, due à l'activité végétative de la couverture herbacée, pourrait inciter l'interprète à traiter cette zone en savane herbeuse.

La faible réflectance des couronnes d'arbres généralement peu développées et d'arbustes, au couvert inférieur à 20%, est dominée par celle des graminées. Par contre, les groupements de ligneux à couvert plus dense, ainsi que les formations ripicoles s'identifient bien sur les deux scènes enregistrées au cours des deux saisons qui caractérisent le paysage végétatif de cette région. Ils apparaissent en brun sur les deux images.

Erosion

Les taches de dégradation du sol sont nombreuses et parfois importantes sur les flancs de vallées à déclivité moyenne et en savane, le plus souvent sur interfluvies où la dénudation des couches superficielles du sol est due au surpâturage. Elles se distinguent sur les deux scènes, plus nettement sur celle de janvier.

Les plages dénudées et ravinées des vallées apparaissent gris jaunâtre et les zones piétinées en savane en jaune clair uni. Ces dernières sont assez denses en zones culturales.

Scène 2358-09291 du 15.1.76

Atakora

La partie nord-est de la chaîne enregistrée sur l'image est couverte dans sa presque totalité de savane arborée, tachetée de lithosols à végétation arbustive.

Une plage de savane boisée, de part et d'autre de la rivière Kouandé, borde le versant oriental du massif.

Les brûlis couvrent la chaîne mais semblent plus précoces que ceux de la plaine (vert plus clair).

Les thalwegs encaissés sont occupés par des galeries forestières denses apparaissant en brun sur l'image.

Scène 2358-09294 du 15.1.76

Atakora

La partie de la chaîne de l'Atakora représentée sur l'image forme une unité de paysage caractéristique contrastant avec les plaines qui l'encadrent, par les lignes, bien marquées, des falaises orientales et occidentales, une tonalité plus claire et un relief intérieur caractérisé par une série de crêtes parallèles orientées sud-ouest - nord-est bien accusées sur l'image par l'opposition des versants sombres et éclairés.

Les thalwegs encaissés sont occupés par des formations forestières linéaires denses de tonalité brune sur l'image.

PRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA METHODE POUR DEFINIR LES ZONES ECO-FLORISTIQUES

