

BURKINA FASO

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

Institut du Développement Rural



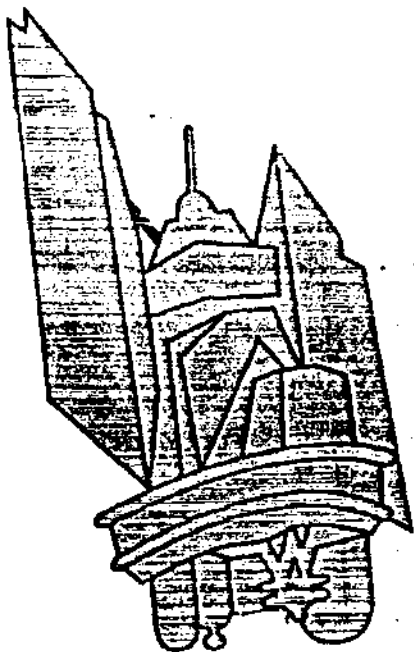
Centre Régional de Télédétection,
Ouagadougou

Mémoire de fin d'études
Option "Eaux et Forêts"
Cycle des I.T.D.R.

RECHERCHE MÉTHODOLOGIQUE
EN VUE DU SUIVI
DIACHRONIQUE DES FEUX DE BROUSSE
AU BURKINA FASO

Jean Abdias COMPAORE

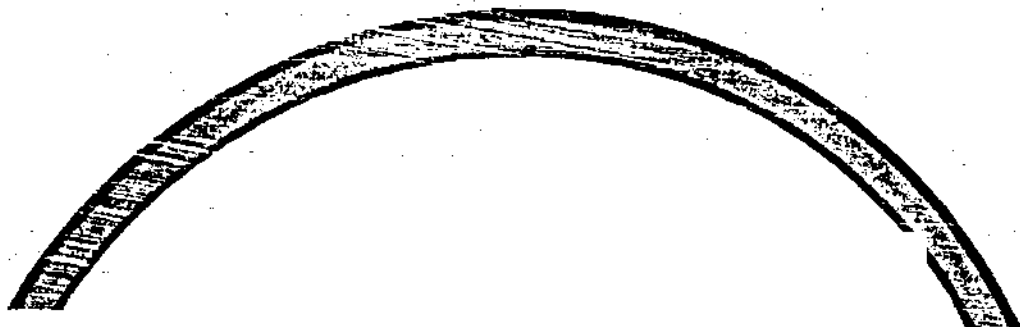
Décembre 1987



JE DEDIE CE MEMOIRE

A MON JEUNE FRERE DAVID FAUSTIN POUR SON AIDE ET
SON SOUTIEN INESTIMABLES PENDANT MON STAGE.

PUISSE SON PENCHANT PREMATURE POUR LA TELEDETECTION
SE TRANSFORMER EN VOCATION.



S O M M A I R E

<u>AVANT-PROPOS</u>	
<u>INTRODUCTION</u>	
<u>PREMIERE PARTIE : GENERALITES</u>	P. 1
Chapitre 1 : Cadre de l'étude	p. 1
I. Cadre physique	"
I.1 - Le relief, les sols et l'hydrographie	"
I.2 - Le climat et la végétation	"
II - Cadre humain	p. 4
Chapitre 2 : Généralités sur les feux de brousse au Burkina	p. 5
I - Terminologie	"
II - Le phénomène des feux de brousse vu sous l'aspect écologique	p. 6
III - Aspects socio-économiques et culturels liés aux feux de brousse	"
IV - La télédétection et le phénomène des feux de brousse	p. 8
<u>DEUXIEME PARTIE - LA RECHERCHE METHODOLOGIQUE</u>	p. 9
Chapitre 1 : Les fondements de la recherche méthodologique	"
I - Les fondements théoriques	"
I.1 - Satellisation	"
I.1.1 - Définition d'unité de temps d'étude	"
I.1.2 - Similarité des conditions d'enregistrement de chaque scène	p.10
I.1.3 - Les différents types de documents utilisés	"
II - Les fondements pratiques	
Chapitre 2 : Les différentes étapes de la recherche méthodologique	p.15
I - Les travaux préliminaires	"
I.1 - Inventaire des documents satellitaires disponibles	p.15
I.2 - Découpage de la carte du Burkina en six (6) fonds de cartes	p.16
I.3 - Le matériel utilisé	p.17
I.3.1 - Les documents de base	"
I.3.2 - Le matériel de visualisation des informations	"
I.3.3 - Le matériel de report des informations	"
II - La méthode "Epreuve-Minute"	p.18
II.1 - L'interprétation des feux sur les E.M.	"
II.1.1 - Principes généraux	"
II.1.2 - Cheminement pratique	"

II.1.3 - Situations particulières	p.19
II.2 - La cartographie des feux	"
II.2.1 - Le mappograph et la phase préparatoire du rapport	"
II.2.2 - Le rapport des feux sur le fond de carte	p.20
II.2.3 - La cartographie finale	"
II.3 - L'exploitation des données contenues dans la carte des feux	p.21
II.3.1 - Le planimétrage	"
II.3.2 - L'inventaire des foyers	"
III - La méthode "Tirage-papier/Minute de travail établie à partir des Epreuves-Minutes" ou T.P./Minute E.M".	"
III.1 - L'interprétation des feux	"
III.1.1 - L'identification et la délimitation des contours des feux	"
III.1.2 - Le rapport des feux	"
III.1.3 - La datation et le complément des limites des feux	"
Chapitre 3 - La méthode "Tirage-Papier/Epreuve-Minute"	p.22
I - L'interprétation des feux	"
I.1 - La procédure temporelle	"
I.2 - La procédure spatiale	p.22
II - La cartographie des feux	p.23
II.1 - La conception de la carte	"
II.1.1 - Les contenus des fonds de cartes	"
II.1.2 - L'habillage de la carte des feux de brousse	"
II.2 - La production de la carte	"
II.2.1 - La rédaction de la minute de travail	"
II.2.2 - La production du support définitif par le dessinateur	p.24
II.2.3 - L'étape de finalisation et de repro- duction définitive	p.25
III - L'exploitation des données contenues dans la carte des feux de brousse	p.26
III.1 - L'extraction des données	"
III.1.1 - Le planimétrage des surfaces brûlées	"
III.1.2 - L'inventaire des foyers de feux	p.28
III.2 - L'utilisation des données extraites de la carte des feux	"

III - Comparaison et conclusion	p.43
CONCLUSION	p.45
ANNEXE 1	p.1 à 34
ANNEXE 2	p.35 à 39
ANNEXE 3	p.39 à 43
BIBLIOGRAPHIE	

LISTE RECAPITULATIVE DES FIGURES, TABLEAUX ET PLANCHES

1ère Partie

1. Figure 1.1 - Les masses d'air régissant le climat au Burkine p.3

2e Partie

2. Figure 2.1 - Les différents paramètres physiques de l'enregistrement p.11

3. Figure 2.2 - Signatures spectrales des feux et de leurs environnements (d'après les valeurs relatives transformées par pondération) p.14

4. Tableau 2.1 - Tableau d'inventaire et d'assemblage des scènes : Octobre à Décembre 1986 p.15'

5. Planche 2.1 - Carte des traces (orbites), des rangs, des centres nominaux et de la couverture du Burkina Faso par les images LANDSAT 4 et 5 p.15"

6. Tableau 2.2 - Inventaire des Tirages-papiers disponibles p.16'

7. Tableau 2.3 - Etat des surfaces brûlées et des foyers du début de la saison sèche 1986/87 : Octobre à Décembre 1986 p.21'

8. Tableau 2.4 - Résultats interprétés du test de planimétrie p.27

3e Partie

9. Planche 3.1 - Situation de la zone-test p.31

10. Planche 3.2 - Présentation des 7 Provinces et 2 Districts phytogéographiques de la zone-test p.32

11. Tableau 3.1 - Résultats du planimétrie des surfaces brûlées, par Province. p.36'

12. Tableau 3.3 - Résultats du planimétrie des surfaces brûlées par District phytogéographique p.36"

13. Tableau 3.2 - Résultats du planimétrie des surfaces brûlées du District de la Comoe p.36"

14. Tableau 3.4 - Surfaces totales brûlées, pourcentages brûlés et surfaces régionales moyennes pondérées par province p.36""

15. Tableau 3.5 - Surfaces totales brûlées, pourcentages brûlés, surfaces régionales moyennes pondérées par District phytogéographique p.36""

16. Planche 3.3 - Carte de synthèse des surfaces totales brûlées par province p.37'

17. Planche 3.5 - Carte de synthèse des surfaces totales brûlées par District phytogéographique p.37"

18. Planche 3.5 - Carte de synthèse du pourcentage de surface brûlée par province p.37"

19. Planche 3.6 - Carte de synthèse du pourcentage de surface brûlée par District phytogéographique p.37"

4e Partie

21. Tableau 4.2 - Tarifs du traitement des films au C.R.T.O. p.42

22. Tableau 4.3 - Comparaison des coûts de la documentation et du temps des travaux de réalisation d'une carte au 1/500.000 p.44

LISTE RECAPITULATIVE DES FIGURES ET DES TABLEAUX (Suite)

A N N E X E 1

Tableau A.11 :	Récapitulatif des programmes spatiaux.	p.6'
Figure 1' :	Schéma général de la Télédétection	p.7'
Figure 2 :	Schéma de l'acquisition des informations à la surface du globe terrestre	p.8'
Figure 3' :	(a) - Représentation d'une onde électromagnétique (L/K) (b) - Représentation du spectre électromagnétique (L/K)	p.9'
Figure 4' :	(a) - Répartition spectrale des radiations provenant de corps noirs de différentes températures (b) - Comportement de l'énergie solaire incidente et de l'émission terrestre à la surface du globe terrestre	p.10 "
Figure 5' :	Signatures spectrales de 4 conditions de pigmentation d'une feuille de <u>Coleus</u>	p.14
Figure 6' :	Signatures spectrales des différents types d'environnements des feux de brousse	p.16
Figure 7' :	Schéma théorique du radiomètre à balayage	p.22
Figure 8' :	Les différents paramètres de l'orbite d'un satellite	"
Figure 9' :	L'orbite du satellite et sa précision dans le plan de l'écliptique	p.29'
Figure 10' :	Configuration générale de LANDSAT 4 et 5	p.30'
Figure 11' :	(a) - Représentation de la projection MTU (b) - Représentation de la projection conique	p.45' "

A N N E X E 2

*Tableau A.21 :	Fiche des résultats des mesures de réflectance de la cuirasse du Golf	p.36'
*Tableau A.22 :	Définition des coefficients de pondération de la contribution des 4 éléments de relief (RX) et des 2 types de couvert du Golf (Cx).	p.37'
*Tableau A.23 :	Fiche des résultats des mesures de réflectance du plan d'eau de Kouabri Nabmenaguéma	p.38
*Tableau A24 :	Fiche des résultats des mesures de réflectance des parcelles expérimentales brûlées	p.38
*Tableau A25 :	Fiche des résultats des mesures de réflectance des parcelles expérimentales non brûlées.	p.39

A N N E X E 3

*Tableau A31 : Nombre de points obtenus par octave par les différentes grilles p.41'

*Tableau A32 : Estimation des surfaces brûlées par les différentes méthodes (en km2) p.4

A V A N T - P R O P O S

Nous ne pouvons commencer ce Mémoire sans exprimer toute notre gratitude à M. Jacques PARNOI, compétent Directeur de l'Assistance aux Utilisateurs au CRTD et Conseiller Technique du Projet "Feux de brousse" pour sa perpétuelle disponibilité, ses précieuses instructions théoriques et pratiques, son attention particulière à notre égard.

Tous nos remerciements à M. Jean-Philippe DUFOUR, Expert en Cartographie pour sa grande sympathie et pour nous avoir aidé dans l'établissement de nos cartes.

Toutes nos reconnaissances à M. François RIBOT, actif Directeur Adjoint de la Formation, pour les enseignements reçus en Télédétection et pour son dévouement à notre égard.

Grand merci à M. et Mme JOBE pour leur précieuse contribution aux travaux de cartographie.

au Camarade TARNAGDA Abdoulaye pour sa contribution combien importante dans les tâches pratiques de cette recherche méthodologique

à Mme NACRO pour sa grande disponibilité et la bonne qualité de la dactylographie,

à tout le personnel du CRTD pour sa sympathie et son soutien moral et matériel.

INTRODUCTION

La lutte contre la Désertification nécessite qu'on s'attaque d'une manière rapide et efficace à ses nombreuses causes parmi lesquelles figurent les feux de brousse.

Les feux de brousse dévastent chaque année dans notre pays des dizaines de milliers de km² sans qu'on puisse établir avec une précision satisfaisante, la répartition spatiale et temporelle de ces surfaces brûlées.

Le Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou (CRTD) a déjà expérimenté à cet effet, plusieurs méthodes d'interprétation et de cartographie des feux de brousse.

Cette année, à la demande du Ministère de l'Environnement et du Tourisme du Burkina, le CRTD a expérimenté d'autres méthodes d'approche synoptique du phénomène des feux de brousse dans le but de choisir celle qui s'adapte au mieux à la précision désirée et aux réalités économiques de notre pays.

Le présent Mémoire fait le récapitulatif de ces travaux, donne un exemple d'application de la méthode retenue à l'issue de la recherche et présente les incidences financières de chaque méthode.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

CHAPITRE 1 : Cadre de l'Etude

Le Burkina, pays situé au coeur de l'Afrique Occidentale entre les latitudes 9°20 et 15°05 Nord et les longitudes 2°20 Est et 5°30 Ouest, s'étend sur une superficie de 274.200 km². Il est divisé en 30 Provinces.

I. Cadre physique

I.1 - Le relief, les sols et l'hydrographie

Vaste plateau monotone d'altitude variant entre 300 et 400 m, le Burkina est un pays reposant sur un socle précambrien granitique et gneissique. La monotonie est interrompue par des collines ou montagnes d'altitude moyenne (400 à 600 m) correspondant aux formations birrimiennes (schistes, dolérites et volcano-sédimentaire). A l'Ouest, au Nord-Ouest et au Sud-Est des falaises soulignent la discordance entre le socle et les formations sédimentaires du précambrien supérieur (grès, conglomérats, schistes, argillites ...). Enfin à l'extrême Est une surface cuirassée marque l'apparition des grès du Continental terminal.

Les sols dont la majorité est constituée par les cuirasses ferrugineuses sont généralement peu fertiles. On en distingue plusieurs types : sols ferrugineux (lessivés ou non), sols alluvionnaires, argileux ou limoneux des vallées, sols argilo-sableux ...

Les sols sont caractérisés par une évolution ancienne marquée par des paléo-climats contrastés avec des périodes humides et des périodes sèches. D'importantes surfaces cuirassées témoignent de ce passé. La majorité des sols appartient à la classe des sols ferrugineux tropicaux de qualité généralement médiocre (faible profondeur, gravillons ferrugineux, réserve utile en eau limitée, ...). Les sols de bonne fertilité ont une extension limitée : sols alluviaux des vallées, sols bruns eutrophes des dépressions périphériques, quelques sols ferrallitiques sur grès ...

Les cours d'eau du Burkina dont la plupart y prennent source appartiennent à 3 bassins principaux :

- le bassin du Niger : Gorouol, Béli ...
- le bassin des Voltas : Mouhoun, Nazanbé, Nazinon, Pendjari ...
- le bassin de la Comoé : Comoé, Léraba ...

Parmi tous ces cours d'eau, seuls la Comoé, la Léraba et le Mouhoun ont un régime permanent.

I.2 - Le climat et la végétation

Le Burkina connaît "un climat tropical nuancé par des petits climats de transition :

- une saison sèche et fraîche : mi-Novembre à mi-Février ;
- une grande saison sèche et chaude : mi-Février à mi-Juin
- une saison humide et fraîche : mi-Juin mi-Septembre ;
- une petite saison chaude et humide : mi-Septembre mi-Novembre".

Ces quatre saisons dépendent "de l'action alternée de la masse d'air continental venant du Sahara (à l'origine de l'harmattan) et de la masse d'air humide venant de l'Océan Atlantique (à l'origine de la mousson). Le front de rencontre entre ces 2 masses d'air appelé Front Inter Tropical ou FIT détermine la durée et le régime de ces saisons.

Trois grandes régions climatiques couvrent le pays :

- . région Sahélienne au Nord (au Nord de 14° N de latitude)
- . région Nord-Soudanienne sur la majeure partie de 11-12° N à 14° N.
- . région Sud-Soudanienne à l'extrême Sud et au Sud-Ouest.

Le gradient Nord-Sud est fortement marqué :

- moins de 500 mm de pluviométrie annuelle au Nord à 1.400 mm au Sud-Ouest ;
- plus de 29°C de moyenne annuelle des températures au Nord à moins de 27°C au Sud-Ouest,
- plus de 2.200 mm d'évapotranspiration annuelle (ETP Turc) au Nord et moins de 1.500 mm Sud-Ouest, correspondant à un déficit respectivement de 1.700 mm à 100 mm ...

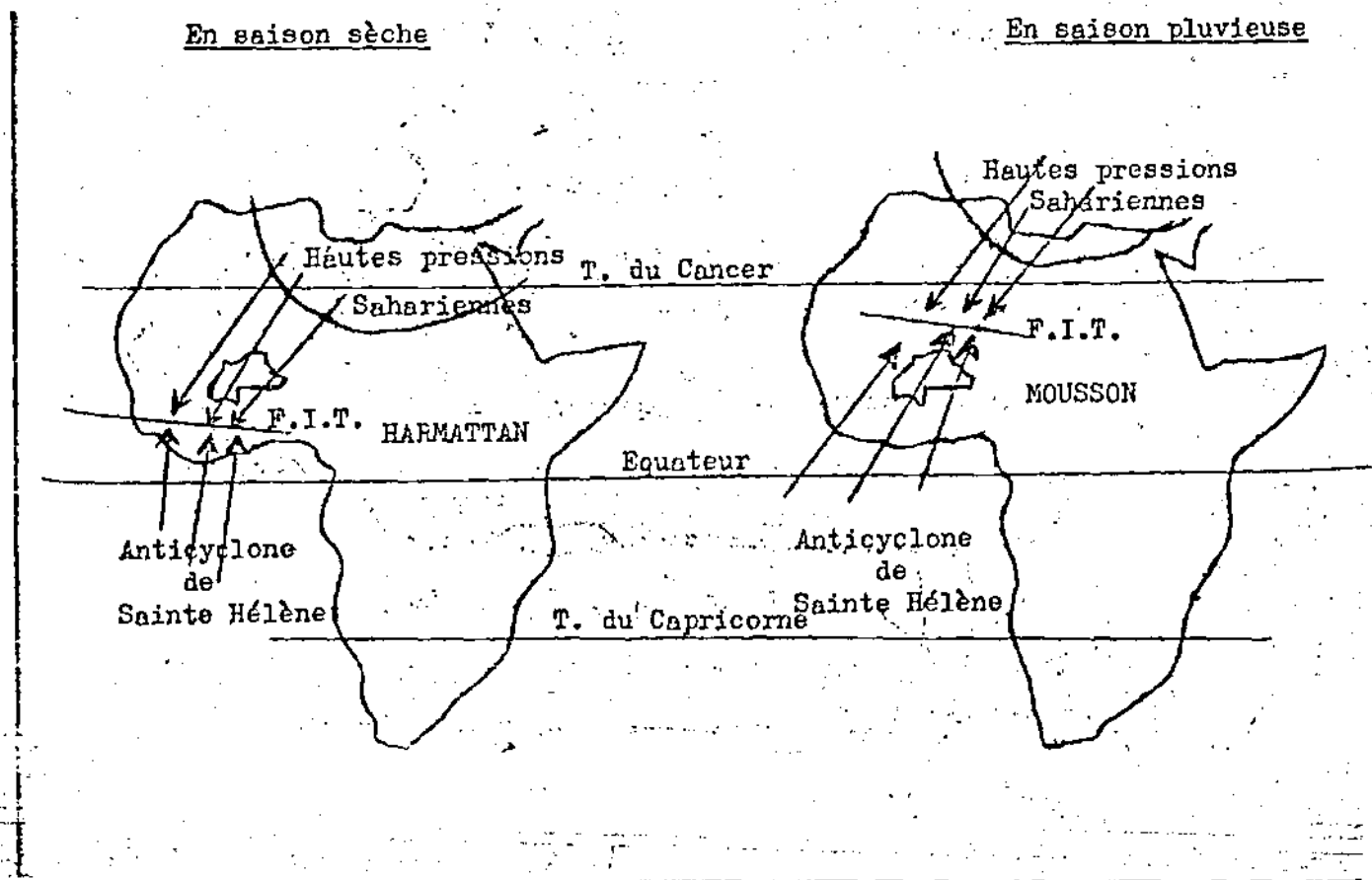
Le Burkina, pays de savanes a une végétation en pleine dégradation due certes aux aléas climatiques mais aussi et surtout à l'action anthropique (feux de brousse, défrichement anarchique...)

D'après G. SITA, la végétation du Burkina appartiendrait à deux domaines phytogéographiques divisés en secteurs et en districts

- Le Domaine phytogéographique Sahélien où les précipitations ne dépassent guère 750 mm "et où la saison sèche dure de 7 à 9 mois consécutifs". Il est subdivisé en secteur Sahélien et en secteur sub-Sahélien tous deux de végétation steppique, à arbustes, arbrisseaux et arbres clairsemés.
- Le Domaine phytogéographique Soudanien correspondant aux climats Soudanien et sub-Soudanien où "les précipitations vont de 750 mm à 1.400 mm et la saison sèche de 4 à 7 mois

La végétation à espèces Soudanienne est constituée par différents types de savanes comportant des galeries forestières le long des cours d'eau et par endroits, à proximité des villages, des forêts sèches (Bois sacrés). D'une manière générale, on y remarque une augmentation de la densité des arbres et l'apparition d'espèces guinéennes en passant du Nord au Sud. Le Domaine Soudanien est subdivisé en secteur septentrional (750 à 1000 mm de pluies) et en secteur méridional (1000 à 1400 mm de pluies). lui-même

Figure 1.1- Les masses d'air régissant le climat au Burkina



subdivisé en 4 districts (Ouest Volta Noire, Est Volta Noire, Pendjari et Comoé). C'est dans ce Domaine phytogéographique où la plupart des grandes herbes sont pérennes (Andropogon spp., Cymbopogon gigantesque, Hyperbania spp.; ...) que sévissent les feux de brousse.

II - Cadre humain

Le Burkina avec ses 8 millions d'habitants a une densité moyenne de population de 29 habitants/km² (18.5 pour toute l'Afrique). Le taux de croissance est estimée à 22 %.

On dénombre au Burkina une soixantaine d'ethnies réparties en 2 grands groupes humains :

- "les ethnies à structures sociales fortes et hiérarchisées (Mossi, Peuls, Gourmantché, Gourounsi, Bissa) qui constituent plus de la moitié de la population ;
- les ethnies du Sud-Ouest (Samo, Marka, Sénoufou, Toussian, Bobos, Lobi, Dagari ...).

D'une manière générale, on constate un important courant migratoire : les migrants vont des plateaux surpeuplés et de plus en plus arides du Centre vers les zones fertiles à faible taux d'occupation de l'Ouest et du Sud-Ouest. Ces migrations causent des problèmes de plusieurs ordres dont celui de l'occupation et de la mise en valeur des terres par des moyens rudimentaires (houe, daba, machette ...) et des procédés archaïques comme la technique de défrichement des nouveaux champs par le feu et celle de la culture itinérante sur brûlis. Ce problème des feux est d'autant plus grave qu'il est lié aux mentalités des populations.

CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES FEUX DE BROUSSE AU BURKINA

Les feux de brousse, pratique humaine séculaire, ont été remis sur la table des débats dans la sous-région suite aux années de sécheresse dans ces dernières décennies.

Maillon principal dans la longue et complexe chaîne de la désertification, le phénomène des feux de brousse se révèle à nous, ici au Burkina comme partout ailleurs, dans sa destructive et cruelle nudité : destruction sur des milliers et des milliers de kilomètres carrés d'herbes, d'arbustes, d'arbres, de récolte, de concessions et parfois de vies humaines.

Harcelés chaque année par un si désastreux spectre, nous devons analyser les tenants et les aboutissants d'un tel phénomène afin d'agir conséquemment et promptement.

I - Terminologie

Le feu résulte de la réaction chimique entre l'oxygène de l'air et le carbone des combustibles (herbacées, ligneux ...) en présence de chaleur. Le feu brûlera d'autant plus longtemps qu'il sera alimenté en combustible et en oxygène de façon permanente : c'est le cas des feux allumés dans les brousses de productivité (herbeuse) supérieure ou égale à une (1) tonne par ha.

Les facteurs influençant la propagation d'un feu de brousse sont : le(s) combustible(s) (nature, répartition, quantité ...), l'humidité du sol et de l'air, le vent, la topographie, l'état de dessiccation du combustible.

On fait la différence entre feux précoces et feux tardifs. On appelle feux précoces ou "mises à feu léopard" (N.A. SOW) les feux allumés en début de saison sèche où toutes les herbes et leur environnement ne sont pas encore secs : ceci permet de limiter plus tard les graves méfaits des feux tardifs qui ne pourront plus être bien alimentés en combustible.

Les variantes constatées dans le phénomène des feux de brousse sont liées aux différents types de formations végétales (forêts-galeries et bois sacrés, savanes, steppes) qui ne sont pas sans influence sur la mentalité et les pratiques des populations. Selon certains Auteurs, le concept de "Formations Végétales" serait indissociable de celui du climat.

Ainsi G. Sita définit la savane comme la formation végétale caractérisant les zones de climat soudanien et sub-soudanien où les précipitations vont de 750 mm à 1400 mm et la saison sèche de 4 à 7 mois.

La steppe, quant à elle, serait liée au "climat de type Sahélien et sub-Sahélien où les précipitations sont inférieures ou égales à 750 mm et la saison sèche comprise entre 7 et 9 mois"

II - LE PHENOMENE DES FEUX DE BROUSSE VU SOUS L'ASPECT ECOLOGIQUE

La force avec laquelle le feu détruit la brousse dépend de ce que les conditions locales lui offre comme combustible. En effet, selon qu'on se trouve en forêt, en savane ou milieu aride, l'espèce, l'abondance et le "comportement" du principal combustible (l'herbe) varient considérablement.

+ L'espèce et le "comportement".

Dans la littérature, il est fréquent de rencontrer les termes "Graminées à feu" (Letourneux) et "Espèces pyrRésistantes"

- Les graminées à feu sont essentiellement constituées par Andropogon amplexans, Andropogon gayanus, Hyparrhenia spp., Cymbopogon giganteum. Elles fournissent au feu par leur vigoureux système de reproduction par rejet une importante quantité de combustible (tiges denses de haute taille).

- Les "Espèces pyrRésistantes" sont représentées par Pennisetum setosum (mauvais combustible, petite taille) et Andropogon tectorum (faible densité) en zone de couvert dense de Sau. Elles offrent par leur taille, leur densité et leur constitution biochimique moins de possibilités au feu de s'étendre sur de vastes étendues.

+ L'abondance du combustible

Quand l'herbe n'atteint pas un minimum de 1000 kg/ha "la brousse ne peut pas brûler" (F.W.T. Penning de Vries et M.A. Djitèye) ; en revanche, dans les régions de strate herbacée dense. (KénéDougou, Mouhoun, ...) on constate que presque toute la brousse brûle.

Les régions de composition floristique hétérogène constituent des obstacles pour les feux de grandes étendues.

Comme le laisse apparaître le dicton "Bon Maître, mauvais serviteur", le phénomène des feux de brousse comportent des aspects positifs comme des aspects négatifs qui sont d'ailleurs dominants.

III - ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES ET CULTURELS LIES AUX FEUX DE BROUSSE

Depuis que l'Homme a découvert le feu, il s'en est toujours servi à des fins dont les mobiles changent selon les mentalités et selon ses applications pratiques.

Certaines populations perçoivent le feu comme un puissant moyen de production : elles l'utilisent alors pour défricher leurs champs, récolter le miel, chasser ...

D'autres, par contre, y voient un moyen dont dispose l'Homme pour se concilier quelque Force Mystique ou expier quelque faute intolérable par les Puissances : c'est la pratique des feux rituels.

Tout ceci nous amène à croire que le phénomène des feux est plus lié à l'action humaine qu'à celle naturelle comme le foudre, les feux dits de génie ...

Les méfaits causés par les feux de brousse (dégradation du milieu naturel et son cortège de malheurs) font que certaines populations comme celles du Nord du Burkina ont été sensibilisées par la nature elle-même. Par contre les populations de l'Ouest et du Sud-Ouest ne semblent pas encore comprendre pourquoi il ne faut pas mettre le feu à la brousse.

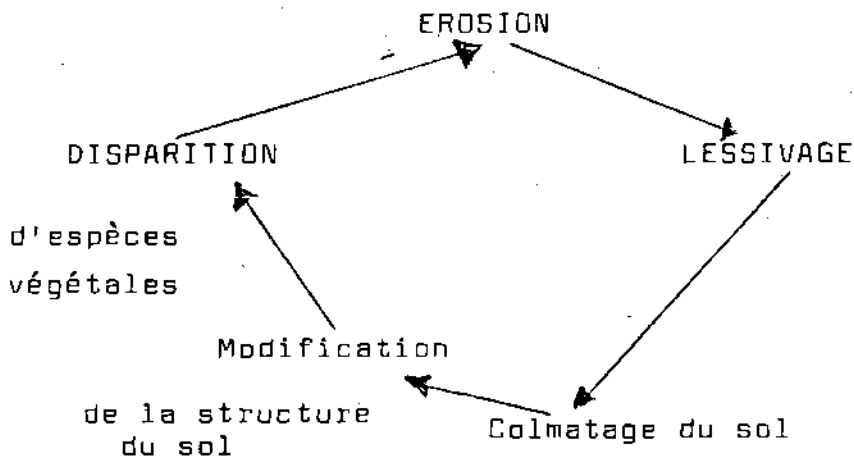
Parmi les aspects positifs on peut citer :

- l'ouverture de la savane en faveur d'activités socio-économiques comme la chasse, le parcours du bétail ...;
- la repousse des herbes pérennes et dans certains cas l'accélération de leur vitesse de croissance";
- la restitution par les cendres d'éléments minéraux "directement utilisables".

Ce sont les aspects négatifs des feux qui dominent de loin ceux positifs. On peut citer :

- la perte importante du couvert d'herbes mortes, pouvant améliorer la structure du sol et/ou contribuer à diminuer les pertes d'eau par évapotranspiration ;
- la destruction des plantules, repousses et parfois des arbres entraînant un appauvrissement des formations végétales.;
- la destruction des récoltes, des concessions et même parfois des vies humaines ;
- la diminution sinon la suppression de l'activité des micro-organismes ... ;

Tous ces méfaits dus au feu font qu'il contribue de façon efficace à la dégradation du milieu naturel dont le cycle classique est le suivant :



IV - LA TELEDETECTION ET LE PHENOMENE DES FEUX DE BROUSSE

L'intérêt de la Télédétection pour le suivi diachronique des feux de brousse réside en 3 points essentiels :

- Les documents satellitaires (Epreuves Minute ou films) du canal Infra-rouge (MSS 4) permettent à l'interprète de discriminer les zones brûlées par rapport à leur environnement.

- la grande superficie couverte par une scène (185 km X 185 km) permet à l'interprète d'avoir une vue d'ensemble des surfaces brûlées et de gagner en nombre de documents interprétés et en temps : d'où l'avantage économique de la Télédétection spatiale sur les autres méthodes d'analyse des feux de brousse (photographies aériennes, sorties sur le terrain ...).

- La périodicité des prises de vue (tous les 8 jours) donne la possibilité à l'interprète de faire une analyse diachronique du phénomène des feux de brousse.

2eme PARTIE : LA RECHERCHE METHODOLOGIQUE

L'homme a toujours tenté de trouver une ou plusieurs solutions pour réduire les problèmes auxquels il est confronté c'est ainsi que pour le cas particulier du phénomène des feux de brousse, nos ancêtres par l'institutionnalisation de certaines règles de la mise à feu de la brousse (interdiction de feux dans les "Bois sacrés", contrôles des mises à feu pour les cultures, désignation d'un responsable du feu ...) arrivaient à juguler un tant soit peu le phénomène.

De nos jours, la dévalorisation de nos traditions et l'essor démographique font qu'il est aisé de constater un bafouement de ces règles d'or d'antan dont le corollaire est la mise à feu, dans nos brousses et parfois dans nos villages, de tout ce qui est consommable.

Pour tenter de trouver des approches de solutions à cette recrudescence du phénomène des feux de brousse, il s'avère nécessaire d'avoir d'abord une vision globale (synoptique) du problème avant d'élaborer des solutions spécifiques à telle ou telle région ou à telle ou telle période de l'année. C'est après quoi que le service chargé de la protection de la nature pourra voir, où, quand et par quels moyens ce phénomène pourra être jugulé.

Plusieurs approches méthodologiques ont déjà été tentées dans le but de cerner le phénomène dans le temps et l'espace.

Nous nous proposons d'exposer dans cette deuxième partie de notre Mémoire le cheminement qui nous a conduit à aboutir à la méthodologie qui nous semble la plus efficiente et la moins chère possible pour un suivi diachronique des feux de brousse dans un pays en voie de développement comme le Burkina-Faso.

CHAPITRE 1 : LES FONDEMENTS DE LA RECHERCHE METHODOLOGIQUE

I - LES FONDEMENTS THEORIQUES

I.1 - Satellisation

I.1.1 - Définition d'unité de temps d'étude

La mise en orbite d'un seul satellite LANDSAT (de deuxième génération) donne la possibilité d'avoir des prises de vue tous les seize jours, et le temps séparant les prises de vue de deux scènes adjacentes est alors de 2 à 3 jours.

La mise en orbite de deux satellites du même type que ci-dessus, comme c'est le cas des LANDSAT 4 et 5 avec un déphasage de huit (8) jours donne alors la possibilité de réduire la période orbitale de seize (16) jours à huit (8) jours et le temps séparant les prises de vue de deux scènes adjacentes passe de 2 à 3 jours à 1 à 2 jours.

Nous avons utilisé cette possibilité d'avoir des prises de vue tous les huit (8) jours pour définir notre unité de temps d'étude.

Notre étude se limite à la saison sèche 1986/87 c'est-à-dire d'Octobre 1986 à Mai 1987 ; nous avons donc divisé cette saison sèche en Périodes de Référence (période de huit (8) jours) et chaque P.R. (Période de Référence) a un numéro d'ordre compris entre 1 et 31.

La P.R. constitue donc notre unité de temps d'étude.

I.1.2 - Similarités des conditions d'enregistrement de chaque scène

Comme nous l'avons écrit en Annexe 1, l'héliosynchronisme obtenu par la maîtrise de certains paramètres de la mise en orbite et les systèmes de contrôle (de vitesse, d'attitude, d'altitude, de localisation) font qu'une scène donnée de pente P constante :

- α_{si} - est toujours éclairée avec le même angle d'incidence
- réfléchit les radiations incidentes avec le même angle de réflexion β_{si} ,
- est toujours enregistrée par les deux satellites avec le même angle d'enregistrement θ , et à la même heure H_{si} .

C'est ce que nous montre la figure 2.1.

La constance de ces paramètres pendant l'enregistrement fait qu'un phénomène F_i donné enregistré à la date t sur une scène S_i donnée est perçu dans des conditions identiques qu'à la date $(t+1)$ et sur la même scène : la seule variable serait donc le temps et par conséquent l'évolution du phénomène F_i : cette démonstration s'applique bien au phénomène des feux de brousse dont l'ampleur varie au cours du temps et peut aussi varier au fil des différents enregistrements si tous les autres paramètres ne sont pas maintenus constants.

I.1.3 - Les différents types de documents utilisés

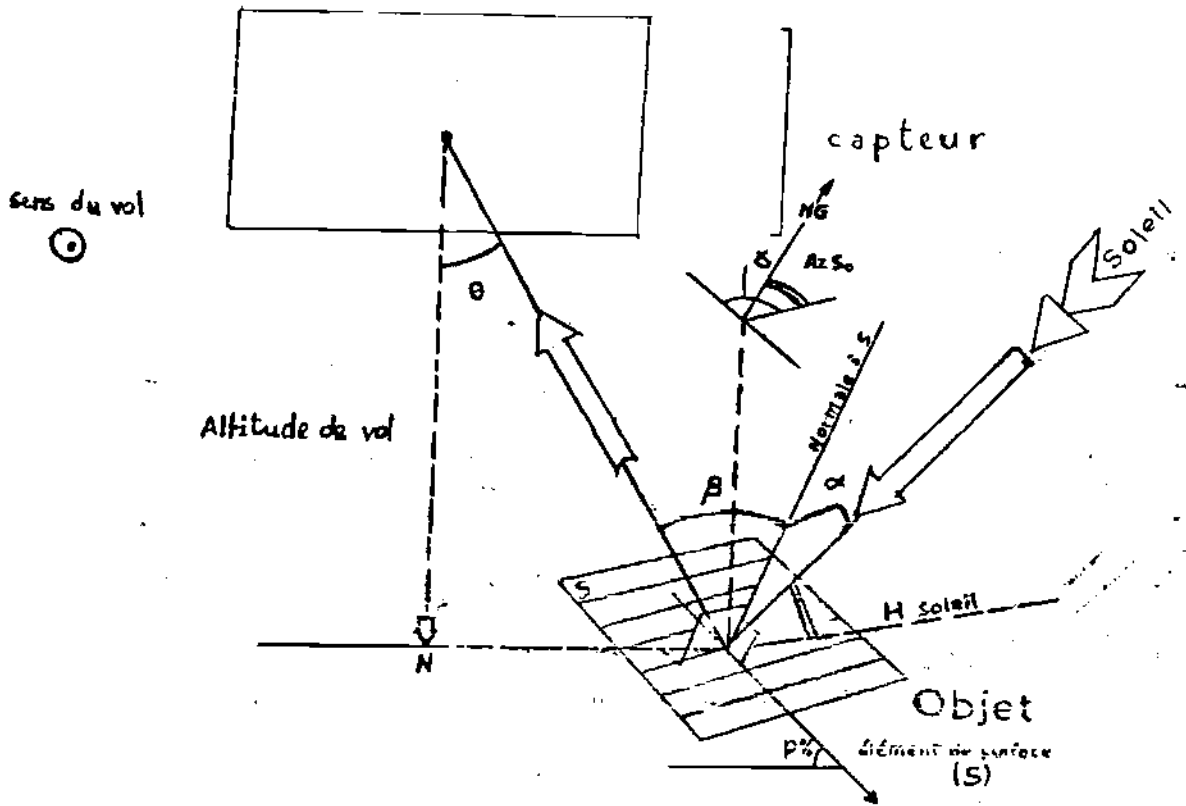
Les documents LANDSAT utilisés dans cette recherche méthodologique sont de deux natures : les épreuves-minutes (E.M.) du canal 4 (0.8-1.1 μ m) et les tirages papiers MSS du canal 4 (IR).

I.1.3.1 - Les Epreuves Minutes (E-M).

Les Epreuves Minutes sont un "produit photographique" des satellites LANDSAT obtenu par "restitution brute" (avec quelques corrections) des informations enregistrées.

Elle se présente sous forme d'image noir et blanc à l'échelle d'environ 1/1.800.000 et correspond à une superficie sur le terrain de 185 kilomètres X 185 kilomètres (superficie d'une scène).

Figure 2.1 - Les différents paramètres physiques de l'enregistrement



En réalité, les épreuves minutes ont subi, avant leur visualisation sur papier photographique, un minimum d'une correction : celle visant à passer de la matrice carrée de la scène originale (avant la correction) au losange (après la correction).

La non correction de toutes les erreurs et/ou ambiguïtés géométriques et radiométriques associée à la très faible échelle des épreuves minutes font qu'il est difficile sinon impossible de les utiliser pour effectuer un travail cartographique précis.

Leur avantage est qu'elles reviennent moins chères quand on veut les acquérir par abonnement : l'abonnement annuel d'une scène LANDSAT revient à trente (30) dollars US (environ 9.000 F.CFA) et par conséquent on peut entrer en possession d'un nombre assez important dans l'année c'est-à-dire de tous les enregistrements d'une année (821 enregistrements pour les 18 scènes couvrant le Burkina Faso à raison de 162.000 F.CFA).

La disponibilité de documents d'un tel genre (faible coût) couvrant dans le temps (une année) et dans l'espace (territoire national) un phénomène dynamique tel que les feux de brousse est un gros point de gagner dans la tentative d'analyse d'un tel phénomène car elles (les épreuves minutes) permettent d'avoir une idée fût-elle imprécise de son ampleur.

L'imprécision des informations contenues dans les épreuves minutes font qu'elles ont été utilisées comme documents.

Pendant le prétraitement des images-satellites, une annotation est faite dans le but d'indiquer à l'utilisateur de l'image comment, quand et où l'enregistrement a été fait.

I.1.3.2 - Les tirages-papiers MSS 4 (monospectral)

Il convient de noter tout de suite que sur dix huit (18) scènes couvrant le Burkina Faso, nous n'avons reçu que les films de quatorze (14) scènes.

Les tirages papiers MSS4 c'est-à-dire noir et blanc sont des images contenant les mêmes informations que les épreuves minutes (c'est-à-dire qu'ils proviennent du même enregistrement) mais la différence réside au fait que :

- les films standards qui sont des négatifs à l'échelle de 1/1.000.000e ont subi un certain nombre de corrections. Celle qui retiendra notre attention est la mise des informations planimétriques (surfaces) dans un système de projection transverse qui est similaire à celui de MTU (cf. Annexe I-II).

- Les films sont traités (sur un papier noir et blanc au CRTD) et agrandis à l'échelle de 1/500.000e soit environ 3,6 fois plus que l'échelle des épreuves minutes (1/1.800.000e) pour avoir des tirages papiers des films MSS4.

Il est évident qu'un tel document (corrigé et agrandi) est plus précis donc plus fiable qu'un autre qui ne l'est pas (Épreuves - minutes) : la mise des informations planimétriques

(surfaces) dans un système de projection transverse et la mise à l'échelle du 1/500.000e (échelle de l'étude) facilitent beaucoup les travaux d'interprétation et de cartographie.

Le seul inconvénient des tirages papiers réside au fait que les films coûtent chers et qu'il faut faire un traitement photographique après l'acquisition des films, d'où les problèmes de disponibilité de matériel et de personnel technique et aussi les problèmes de non similarité des conditions de traitement photographique donc de densitométrie.

II - Les fondements pratiques

Nous entendons par "suivi diachronique des feux de brousse" le suivi au cours des différentes périodes de l'année et au fil des années du phénomène des feux de brousse à travers l'estimation des surfaces brûlées et le décompte des foyers de feux.

Un foyer de feu est l'endroit où le feu commence à brûler la brousse.

Généralement, après le passage du feu, le sol est couvert par des cendres noires qui, de ce fait, modifient le comportement de ce sol vis-à-vis des radiations incidentes.

Généralement la réflectance spectrale (cf. Annexe I- paragraphe "Acquisition des informations") d'un sol diminue après le passage du feu : cf. Figure 2-2. - Fm.

Ce phénomène s'explique par le fait que la couleur noire des cendres recouvrant le sol lui confère un comportement similaire à celui d'un corps noir c'est-à-dire qui absorbe plus les radiations incidentes qu'il ne les réfléchisse : le sol apparaîtra alors noir dans le canal MSS4. Le sol brûlé a un comportement presque similaire dans les 3 canaux MSS. Il n'en est pas de même pour les autres éléments (savane herbeuse non brûlée Gm, Plan d'eau E1, et E2, cuirasse c) dont les signatures spectrales varient de façon plus ou moins perceptibles selon les canaux.

L'analyse des signatures spectrales de ces différents éléments dans la Figure 2.2 nous permet de faire les constatations suivantes :

+ dans les canaux 1, 2 et 3, les signatures spectrales des différents éléments sont entremêlés, ce qui ne permet pas de bien les discriminer les uns par rapport aux autres,

+ dans le canal 4, il est plus facile de différencier le sol brûlé Fm (de réflectance $R = 7.85 \%$) de :

- la savane herbeuse G, $R = 25.2 \%$
- la cuirasse c, $R = 8.39 \%$
- les parties de plan d'eau E1, $R = 10.8 \%$
et E2, $R = 2.4 \%$.

Le canal MSS4 se prête donc bien à l'interprétation des sols brûlés.

RECHERCHE METHODOLOGIQUE EN VUE DU SUIVI
DIACHRONIQUE DES FEUX DE BROUSSE AU BURKINA FASO

JEAN AÛDIAS COMPADRE

E R R A T A

SOMMAIRE

- p.a - ligne 24 : ajouter à la fin "p. 13"
p.b - ligne 4 : "report au lieu de repport"
ligne 5 : idem
ligne 16 : "
ligne 34 : "T.P./E.M." au lieu de "E.M./T.P."
ligne 36 : idem
- p.e - ligne 17 : corriger à la fin "p. 15" " au lieu de "p.15"
- p.g - ligne 20 : corriger à la fin p. 13' " " p.16'
ligne 21 : corriger à la fin "p.16' au lieu de 22' p.22'
ligne 23 : " " p. 16' " " p.22'
ligne 25 : " " p. 20" " " p.29"
ligne 26 : " " p. 21' " " p.30'
ligne 27 : " " p. 33' " " p.45'
ligne 28 : " " p. 33' " " p.45'

PREMIERE PARTIE

- p.1 - ligne 38 : "Nakanbé" au lieu de "Nazambé"
p.2 - lignes 42 et 43 : "on remarque" au lieu de "on y remarque"
p.4 - lignes 12 et 13 : insérer une ouverture de parenthèse "(" entre
"hiérarchisées" et "Mossi".
- p.7 - ligne 24 : ajouter "du sol" après "micro-organismes"
p.7 - ligne 26 : supprimer "le cycle classique est le suivant" : et
remplacer par "... le stade ultime est la désertification qui se
présente comme suit :"

DEUXIEME PARTIE

- p.9-ligne 19 : ..."ou" au lieu de "où"
p.10 - ligne 5 : supprimer "d'Octobre 1986 à Mai 1987" et insérer "du
1er Octobre 1986 au 31 Mai 1987".

.../...

- 10 - ligne 15 : "... font qu'une scène Si donnée "au lieu de" font qu'une scène donnée"
- 18 - ligne 11 : "Simultanés" ... au lieu de "sirmultanée" ...
- 19 - ligne 4 : "apparus" au lieu de "appartenus"
ligne 6 : "l'Epreuve-Minute" au lieu de l'Eupreuve-Minute"
- p.21 - ligne 1 : "feux" au lieu de "feu"
- p.21 - après le titre du Tableau 23 : ajouter "Méthode Epreuve-Minute"
- p.25 - ligne 3 : "numérique et graphique" au lieu de "numériques et graphiques".
- p.28 - ligne 14 : "feu" au lieu de "feux".

TROISIEME PARTIE

- p.30- ligne 1 : "Application de la méthode" au lieu de "Application de méthode ..."
ligne 8 : "2°42" au lieu de "2.7°"
- p.33 - ligne 19 : "Salou" au lieu de "Salon"
- p.34 - ligne 9 : "Tableau 2.1" au lieu de "Tableau 1.1"
- p.35 - ligne 4 : "Sur la carte ..." au lieu de "... dans la carte ..."
- p.38 - ligne 42 : "...Composition colorée ..." au lieu de "Compositions colorées"
- p.39 - ligne 6 : "... à la rose tachetée de ..." au lieu de "... la rose tacheté de ..."
- p.39 - ligne 39 : après l'échelle" aller à la marge pour lire " ... du 1/1.800.000 pourra être augmentée jusqu'à 1/500.000 (propriété 2)..."
- p.40 - ligne 35 : supprimer la fermeture de parenthèse ")"
- p.41 - Après le Tableau 2e ligne : "... à traiter "hors série" au lieu de " .. à traiter en "hors série".
- p.42 - Avant dernière ligne du Tableau 4.2 : "Contact (au 1/400.000)"
- p.43 - ligne 2 : "... T.P./E.M. ..." au lieu de "...E.M./T.P..."
ligne 9 : "...T.P./E.M. ..." au lieu de "... E.M./T.P...."

ANNEXE 1 :

- SOMMAIRE : ligne 23 : "... émulsion photographique" au lieu de "... papier photographique ..."
- p.1 - lignes 4 à 6 : supprimer" ... d'une part et dans le contexte général de ce phénomène de dégradation à multiples facettes de notre environnement".
- p.12 - ligne 26 : "... réfléchissent..." au lieu de "réflectent ..."

- .13 - ligne 8 : "... plus claire donc plus réfléchissante qu'il ..."
- .14 - ligne 12 : "... absorbé" au lieu de "absorbée"
- .16 - ligne 19 : "... est ensuite ..." au lieu de "... et ensuite ..."
- .19 - ligne 26 : "... révolution ..." au lieu de "... résolution..."
- .25 - lignes 19 et 20 : "... géométrique et tonale..." au lieu de "... géométrique tonale ..."
- .30 - Avant dernière ligne : "ainsi que de leur ..." au lieu de "... ainsi que dans leur ..."
- .32 - lignes 6 et 7 : lire "g (L,M) =y".

ANNEXE 2

- .35 - ligne 13 "... sur la cuirasse latéritique du Golf ..." au lieu de "... sur des cuirasses latéritiques du Golf ..."
- .36 - ligne 23 : "Etenium" au lieu de "cténium"
- .37 - ligne 8 : insérer une virgule entre "sub-horizontale" et "haute pente"
- .37 - ligne 25 : supprimer la fermeture de parenthèse après "l'herbe sèche"
- .39 - ligne 2 "Tephrosia spp." au lieu de "Tephyrosia spp."
- .40 - ligne 5 "... d'estimation" au lieu de "d'estimations"
- .40 - lignes 21 et 22 : insérer un signe "X" (multiplié) entre "des points 0.5 cm" et "0.5 cm".
- .42 - ligne 6 : "... la valeur Vp du ..." au lieu de "... la valeur de Vp du ..."
- .42 - lignes 30 et 31 : insérer "et" entre "0.5 cm X 0.5 cm" et "1 cm X 1 cm"

BIBLIOGRAPHIE

de page - 23. "M. Yergeau ..." au lieu de "M. Yereau...".

Couverture et Première page

Lire "Option : Eaux et Forêts" au lieu de "Option" Eaux de Forêts".

Sommaire

p. g. ligne 3 : Lire "spatiaux" au lieu de "sptiaux".

Introduction

Ligne 14 : Lire "choisir" au lieu de "chosir".

R E S U M E

L'utilisation des produits LANDSAT (Epreuves-Mini-mes- MSS Infra-rouge au 1/1.800.000e et tirages-papiers obtenus au 1/500.000e par traitement photographique d'un négatif MSS Infra rouge) couvrant de grandes régions (185 km X 185 km) permet le suivi au cours du temps (suivi diachronique) des feux de brousse grâce à la régularité des enregistrements (tous les 8 jours). A cet effet, une méthode d'étude du phénomène des feux de brousse à partir de ces produits a été mise au point au Centre Régional de Télédétection, Ouagadougou (C.R.T.O.).

Cette étude dont le coût de réalisation est de l'ordre de quelques millions pour un pays comme le Burkina Faso (couvert par 18 scènes LANDSAT) est à notre avis bien adaptée aux disponibilités budgétaires des pays en voie de développement pour suivre l'évolution d'un phénomène d'une telle envergure.

S U M M A R Y

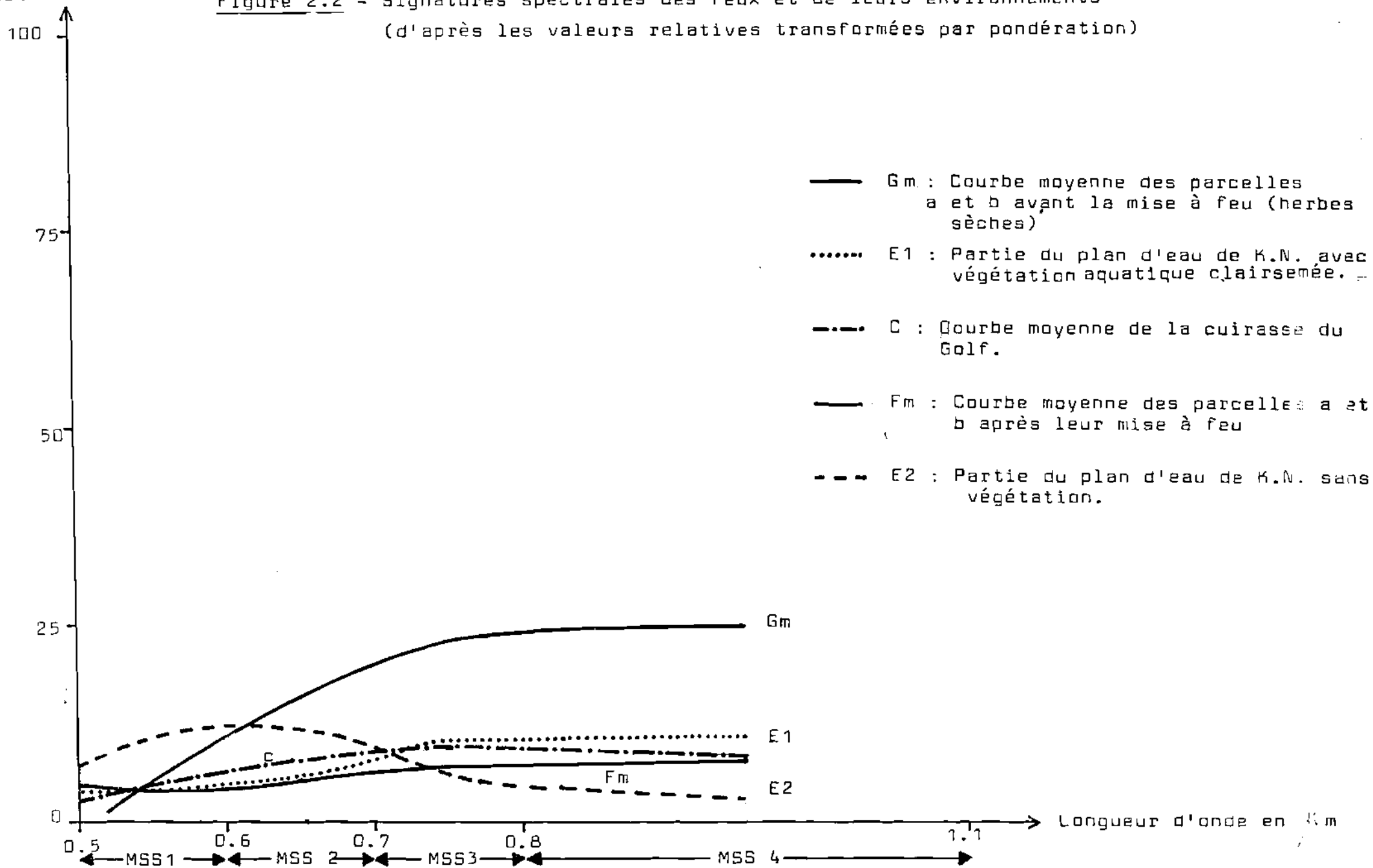
The use of LANDSAT products (quick-looks of MSS Infra-red on a scale of 1/1.800.000 and print papers on a scale of 1/500.000 produced by processing a negative of MSS Infra-red) covering large areas, enables us to monitor on a long term basis (diachronic monitoring) bush fires through regular scene recordings (every 8 days).

An approach to the study of the bush fire phenomenon based on the use of these products, has been developed by CRTO (Regional Remote Sensing Centre, Ouagadougou).

We believe that the allocation of some millions by a country such as Burkina Faso (covered by 18 LANDSAT scenes) to this study is feasible and within the funding capacities of developing countries in that it will enable them better monitor the progress of a phenomenon of such a scope.

Réflectance en %

Figure 2.2 - Signatures spectrales des feux et de leurs environnements
(d'après les valeurs relatives transformées par pondération)



Sur les Epreuves-Minutes et tirages papiers de MSS4, on peut plus ou moins aisément différencier les feux de différentes dates, des autres éléments (objets) par l'analyse des différents niveaux de gris.

Ainsi le noir très foncé correspond aux plans d'eau sans végétation, le noir foncé correspond aux feux récents (< 16 jours), le gris plus ou moins clair correspond aux anciens feux (> 16 jours) et aussi aux zones marécageuses, à la végétation dense et aux cuirasses.

Les tonalités correspondant aux différentes périodes dépendent non seulement des conditions de visualisation des données sous forme d'images mais aussi des conditions de temps et de terrain : pluies, vents, pente, humidité, type de couvert ...

CHAPITRE 2 : LES DIFFERENTES ETAPES DE LA RECHERCHE METHODOLOGIQUE

Comme nous l'avions dit tantôt, notre recherche méthodologique était basée sur l'interprétation et la cartographie des feux de brousse à partir des Epreuves-Minutes et des tirages-papiers tous deux du canal MSS 4.

Le but de cette recherche est d'exploiter au mieux non seulement la précision géographique de la localisation des feux sur les tirages-papiers et mais aussi la disponibilité des Epreuves-Minutes à un intervalle régulier de temps de huit (8) jours, tout en ayant à vue l'aspect "coût" lié à chaque méthode.

I - LES TRAVAUX PRELIMINAIRES

I.1 - Inventaires des documents satellitaires disponibles

Il convient de dire tout de suite qu'il faut dix huit (18) scènes LANDSAT pour couvrir tout le territoire national au lieu de quinze (15) comme initialement prévues.

Au début de notre stage au CRTD, nous n'y avons trouvé qu'une partie des Epreuves-Minutes de la saison sèche 1986/87 : celles du 1er Octobre au 31 Décembre 1986.

Les 18 scènes étant normalement enregistrées tous les 8 jours, nous devions avoir 216 scènes pour l'ensemble du pays. Il n'y a eu que 160 scènes inventoriées (soit 74 %), les 56 autres étant inutilisables du fait des mauvaises conditions atmosphériques (nuages, brume sèche ...) interférant entre la surface terrestre et le satellite.

Nous vous présentons dans le Tableau 2.1 l'inventaire de toutes ces Epreuves-Minutes (quicks-looks en anglais) qui est suivi d'une notice d'explication des différentes annotations et dans la Planche 2.1 la carte d'assemblage des 18 scènes couvrant le Burkina et des 6 feuilles de découpage.

Ce Tableau d'inventaire des E.M. et cette carte d'assemblage nous permettent d'avoir une vue synoptique de la répartition des différentes unités spatiales (scènes) et temporelles

TABLEAU 2.1- INVENTAIRE DES FLEUX DE BRUSSE AU BURKINA FASO : Tableau d'inventaire et d'assemblage des scènes : Octobre à Décembre 1986 - sens d'inventaire : N-U S-E.

N° DU CENTRE NOMINAL	COORDONNEES GEOGRAPHIQUES	NOMS CONVENTIONNELS	DATES	PLANS D'EAU	NOMBRE DE QUICK-LOGS	N° DES QUICK-LOGS
197-51	N13-01/W004-12	Djibesso (Dj)	1;2;3;4;5;6;7;8;9;10	a: Bani (Meli)	10	Dj1 à Dj10
197-52	N11-34/W005-01	Oradera (Or)	1;2;3;4;5;6;7;8;9;10	b: Siou, Mareaux Hippo, Bafing c: Plandi.	10	Or1 à Or10
197-53	N10-07-W005-20	Niangoloko (Ni)	1;2;3;4;5;6;7;8;9;10	a: Loumane b: Koloko, Tengrela, Toumousséni, Tiéfore	10	Ni1 à Ni10
196-50	N14-27/W002-50	Bani (Ba)	1;2;5;6;7;9;11	c: Soulinéré, Tougan, Ouhigouya.	8	Ba1 ; Ba2 Ba5;Ba6;Ba7; Ba8;Ba9;Ba11
196-51	N13-01/W003-08	Tougan (To)	1;2;3;5;6;7;8;9;11	e et d : Sourou b: Gonlinéré, Ouhigouya, Tougan.	9	To1;To2;To3; To5;To6;To7; To8;To9;To11
196-52	N11-34/W003-28	Houndé (Ho)	1;2;5;6;7;8;9;11	a et d: Siou, mare aux Hippo, Bafing c et e: Bougouriba	8	Ho1;Ho2;Ho5 Ho6;Ho7;Ho8 Ho9;Ho11
196-53	N10-07-W003-46	Loropéni (Lo)	1;2;5;6;7;8;9;11	a: Bougouriba	8	Lo1;Lo2;Lo5; Lo6;Lo7;Lo8; Lo9;Lo11
195-50	N14-27/W001-17	Djibo (Db)	1;2;3;4;5;6;7;8;9; 10;	c: Boukoume, Dabio d: Bourzanga, Titan, Djibo	10	Db1 à Db10
195-51	N13-01/W001-36	Kongoussi (Ko)	1;2;3;5;6;7;9;10; 11;12	e: Bourzanga, Bam b: Dabio, Sim, Dem, Tamas- ango, Solemnoré c: Loubila, Pabré, Kem- bouiné, Ouagadougou	11	Ko1;Ko2;Ko3; Ko5;Ko6;Ko7; Ko8;Ko9;Ko10
195-52	N11-34/W001-55	Sapouy (Sa)	1;2;3;5;6;7;8;9;10; 11;12		11	Sa1;Sa2;Sa3; Sa5;Sa6;Sa7; Sa8;Sa9;Sa10; Sa11;Sa12
195-53	N10-07/W	Batié (Bt)	2;6;7;8;9;11;12		8	Bt2;Bt5; Bt7;Bt8;Bt9; Bt10;Bt11;Bt12
194-50	N14-27/E000-16	Dori (Do)	1;2;3;5;6;7;8;9;10; 12	b: Niger c: Ndiaba d: Dori	10	Do1;Do2;Do3; Do5;Do6;Do7; Do8;Do9;Do10 Do12
194-51	N13-01/W000-04	Bogandé (Bo)	1;2;3;4;5;6;7;8;9; 10;12	a: Yalogo, Dakiri, Tougouri b: Demere d: Magtédé	11	Bo1;Bo2;Bo3; Bo4;Bo5;Bo6; Bo8;Bo9;Bo10;Bo11
194-52	N11-34/W000-23	Tenkodogo (Te)	1;2;3;4;5;6;7;8;9; 10;12	a: Magtédé, Munga	11	Te1;Te2;Te3; Te4;Te5;Te6; Te7;Te8;Te9; Te10;Te12

TABLEAU 2.1 - (Suite)

N° CENTRE NOMINAL	COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES	NOMS CONVENTIONNELS	DATES	PLANS D'EAU	NOMBRE DE QUICK-LOOKS	N° DES QUICK-LOOKS
196-51	N13-09/E001-09	Goroubi (Go)	1:2;5;8;9:10	b: Niger c: Boudiéri	6	Go1;Go2;Go5; Go6;Go8;Go10
197-52	N11-34/E001-10	Arli (Ar)	1:2;5;6;8:10	b: Boudiéri c: Tapoa	6	Ar1;Ar2;Ar5; Ar6;Ar8;Ar10
199-51	N13-01/E003-02	Tapoa (Ta)	2:7:8;9;11:12	a et d: Niger d: Goroubi, Tapoa	6	Ta2;Ta7;Ta8;1 Ta11;Ta12
192-52	N11-34/E002-43	Mékrou (Mé)	2:7:8;9;10;11;12	a et b: Niger	7	Mé2;Mé7;Mé8; Mé9;Mé10;Mé11 Mé12

NOTICE EXPLICATIVE

Sigles des dates

- 1: 1er - 08 Octobre
- 2: 09 - 16 Octobre
- 3: 17 - 24 Octobre
- 4: 25 Octobre-1er Novembre
- 5: 02 - 09 Novembre
- 6: 10 - 17 Novembre
- 7: 18 - 25 Novembre
- 8: 26 Novembre-03 Décembre
- 9: 04 - 11 Décembre
- 10: 12 - 19 Décembre
- 11: 20 - 27 Décembre
- 12: 28 - 04 Janvier 87.

Sigles utilisés dans la colonne "Plans d'eau"

- a b Quick-look divisé en 4 parties égales
- d c

Sigles des N° de quick-looks

A chaque centre nominal correspondent plusieurs quick-looks qui, à leur tour, correspondent à des dates précises (1 à 12, cf. Sigles des dates). En principe, pour une bonne interprétation, à n'importe quel centre nominal devait correspondre un nombre constant k de quick-looks ; mais compte tenu de la mauvaise qualité de certains quick-looks due soit à des conditions atmosphériques non propices à un bon enregistrement des informations recherchées soit à un mauvais traitement et une défectueuse restitution sous forme d'images des informations recherchées, ce nombre k n'est pas constant pour tous les centres nominaux : c'est ainsi que k varie de 6 à 12 quick-look suivant les centres nominaux. Exemple : Ba5, scène obritent la localité de Bani (Ba) et correspondent au centre nominal n° 196-50 et image prise entre le 2 et le 9 Novembre (5).

Carte des traces (orbites), des rangs, des centres nominaux et de la couverture du BURKINA-FASO par les images de Landsat 4 et 5.

PLANCHE 2.1

15"

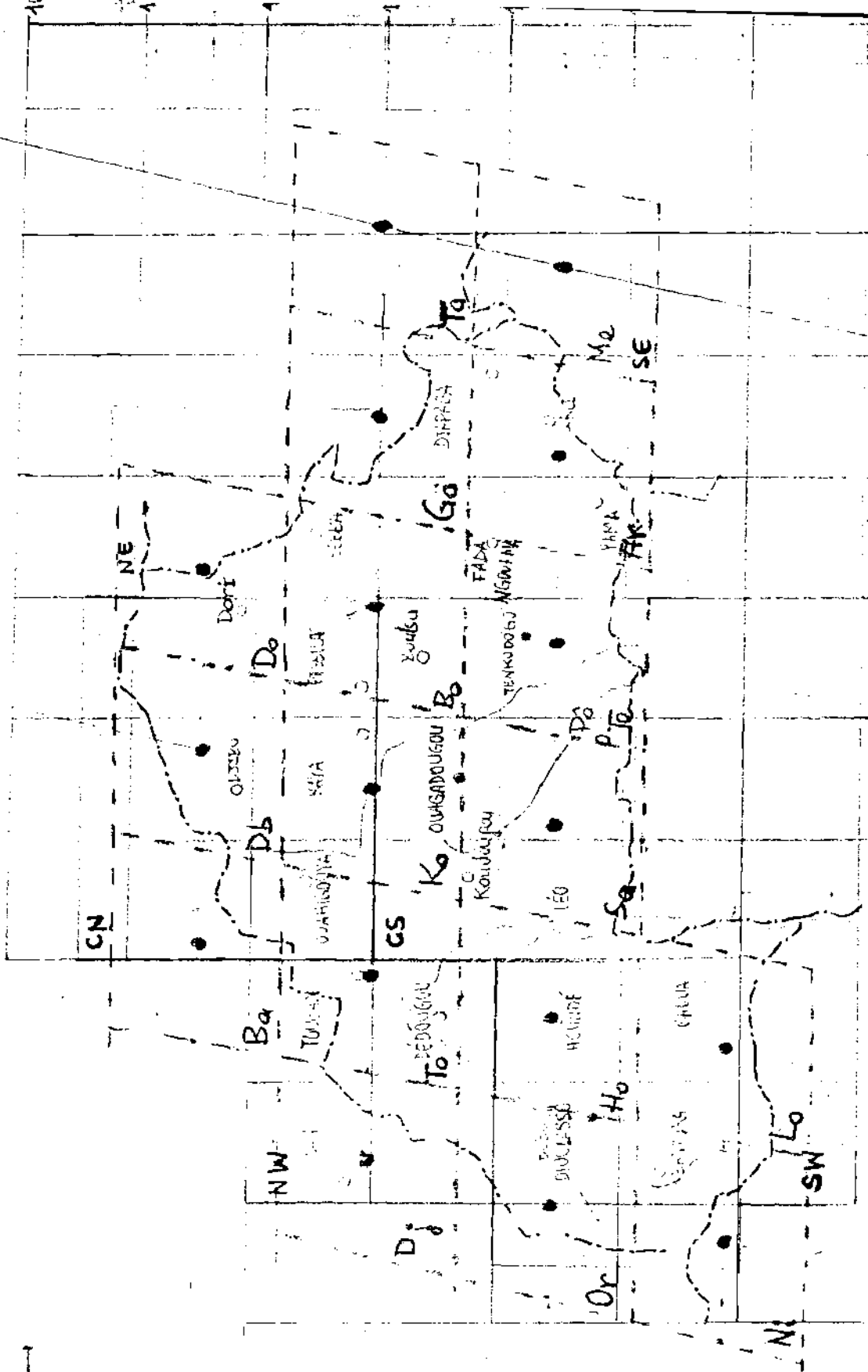
Trace 197 Trace 196 Trace 195 Trace 194 Trace 193 Trace 192

Rang 50

Rang 51

Rang 52

Rang 53



0 50 100 Kilometers

(périodes) et d'éviter de recourir à chaque fois aux documents eux-mêmes et par conséquent de gagner du temps et de diminuer les risques d'abîmer ces documents.

Au niveau des films MSS4 seulement 14 des 18 scènes (soit 77.7 %) sont disponibles depuis seulement la Mi-Septembre ce qui nous a beaucoup retardé et nous a obligé à limiter l'application de la méthodologie retenue à la seule région du Sud-Ouest.

Contrairement aux E.M., les films MSS4 sont en petit nombre, un film par scène et par trimestre, ce qui ne rend pas souvent l'interprétation aisée car le temps séparant l'apparition des premiers feux et la date d'enregistrement de la scène (intervalle de 3 mois) joue en faveur d'une modification plus ou moins importante de la radiométrie des surfaces brûlées suivant certaines conditions pédologiques, écologiques et/ou climatiques.

Nous vous présentons dans le Tableau 2.2 l'inventaire des tirages-papiers sur lesquels nous avons fait l'interprétation des feux de brousse.

I.2 - Découpage de la carte du Burkina en six (6) fonds de carte

Pour une question de commodité dans la manipulation des fonds de carte, le Burkina a été divisé en six (6) zones suivant le découpage géographique et les fonds de cartes correspondants ont chacun une dénomination conventionnelle :

DENOMINATIONS CONVENTIONNELLES	DECOUPAGE GEOGRAPHIQUE	
	Parallèles	Méridiens
Nord-Ouest	N12°-N14°	W03°- W5°
Sud-Ouest	N09°-N12°	W27°- W05°30
Centre-Nord	N13°-N15°05	0°- W03°
Centre-Sud	N10.8°-N13°	0°- W03°
Nord-Est	N13°-N15°05	0°- E1.5°
Sud-Est	N10.6°-N13°	0°- E02°20

Ces différentes feuilles sont obtenues par calque sur les anciennes cartes IGN au 1/500.000e des Années 1950 et comportent les éléments planimétriques suivants :

- Eléments naturels : le réseau hydrographique et les plans d'eau naturelle qui nous serviront d'amers (points de repères fixes observables sur toutes les images) ;
- Eléments rapportés : les plans d'eau artificiels (amers) et le réseau routier ;
- Eléments abstraits : les Chefs-lieux et les limites de provinces et les frontières d'Etat.

TABLEAU :2.2 - INVENTAIRE DES TIRAGES-PAPIERS DISPONIBLES

N° DE LA SCENE	DATE D'ENREGISTREMENT	N° DU LANDSAT CONCERNE
197-53	26 Décembre	4
197-52	26 "	4
197-51	26 "	4
196-53	11 "	5
196-52	11 "	5
196-51	11 "	5
196-50	11 "	5
195-52	12 "	4
195-51	28 "	4
195-50	28 "	4
194-52	29 "	5
194-51	05 "	4
194-50	29 "	5
193-52	14 "	4

L'ancienneté des informations contenues dans les cartes IGN (établies en projection conique de Lambert depuis les années 1950) nous imposait une actualisation du réseau hydrographique et notamment de tous les plans d'eau qui constituent les principaux points de calage. Cette actualisation a été faite à partir des tirages-papiers MSS et de la projection de "diapositives composition colorée SPOT".

Ces différentes informations sont reportées sur les six (6) fonds de cartes à l'aide de "Rotrings" (stylos à tube pour écrire et dessiner) et de matériel de dessin cartographique.

Ces fonds (calques) ont été dupliqués en contre-calques qui nous servent de minutes de travail (documents de travail non définitifs).

I.3 - Le matériel utilisé

I.3.1. - Les documents de base

Ils sont constitués essentiellement des images MSS4 :

- le jeu de 160 Epreuves-Minutes des 18 scènes couvrant le Burkina,
- le jeu de 14 scènes LANDSAT en tirage-papier au 1/500.000e.

les documents de base comprennent aussi ceux ayant servis à l'établissement des fonds de carte :

- les cartes IGN au 1/500.000e des Années 1950 au nombre de 8,
- les compositions colorées SPOT en diapositives de 3 scènes.

I.3.2 - Le matériel de visualisation des informations

Il comprend :

- un stéréoscope à miroirs,
- une table lumineuse,
- une lampe,
- un appareil agrandisseur de projection par épiscopie (Mappograph),
- un appareil de projection par diascopie.

I.3.3.- Le matériel de report des informations

Il comprend :

- des Rotrings (0.3, 0.5, 0.1 mm),
- un porte-mine 0.5 mm avec des mines noires, rouges et bleues,
- des crayons gras rouges et/ou bleus (c'est-à-dire facilement effaçables) .

I.3.4 - Le matériel d'exploitation des résultats

- le planimètre polaire,
- les deux grilles de sondage 0.5 et 1 cm pour le comptage statistique,
- un (1) compteur de points.

II - LA METHODE "EPREUVES-MINUTES"

Cette méthode qui nous a pris 3 mois et demi était celle initialement préconisée pour l'inventaire des feux de brousse et consistait à interpréter les feux sur les E.M. et à les cartographier sur un fond de carte après agrandissement (au 1/500.000e) et projection simultanée d'une scène par un appareil optique (Mappographe) utilisant les propriétés de l'épiscopie (système de miroirs permettant de réfléchir une image à support opaque).

II.1 - L'interprétation des feux sur les E.M.

II.1.1 - Principes généraux

Quelque soit la méthode testée, l'interprétation des feux, c'est-à-dire leur identification, la délimitation de leur étendue et leur datation, exige la prise en compte des variations spectrales, temporelles et spatiales de toutes informations utiles contenues dans une scène enregistrée au canal MSS4.

C'est ainsi qu'après avoir repéré sur une Epreuve-Minute MSS4 à la date t une surface St qui ressemble par sa tonalité (du noir foncé au gris clair) à un feu (ombre de nuage, cuirasse, eau, végétation dense), l'interprète devra bien s'assurer des points suivants :

- Si dans un premier temps cette surface St n'existait pas au même emplacement (aspect spatial) à la date $t-1$ (aspect temporel),

- et si dans un deuxième temps la surface St perdure au même emplacement aux dates $t+1$; $t+2$..., $t+n$ (1,2, ...n représentant les périodes.

Si la surface St semble avoir une tonalité et une étendue qui varient au cours de ces différentes périodes, c'est qu'elle est liée à un phénomène dynamique qui ne peut être en saison sèche et en MSS4 que celui des feux de brousse : l'incertitude est ainsi levée.

II.1.2 - Cheminement pratique

II.1.2.1 - L'identification

Elle est facilitée grâce à la superposition des amers homologues des scènes de différentes périodes et à l'analyse des formes et des distances.

Après avoir bien superposé les Epreuves-Minutes (c'est-à-dire amer homologue sur amer homologue), l'interprète devra chercher à identifier les feux suivant le principe général ci-dessus expliqué.

II.1.2.2 - La délimitation des contours des feux

Cette opération dont le but est de mieux mettre en relief des zones brûlées apparaissant à une période donnée, consiste à délimiter l'étendue des feux nouvellement appartenus et parfois en leur noircissement (cas de faible contraste de l'Epreuve-Minute). Cette opération est possible grâce à l'utilisation du Rotring 0.1 mm à l'encre de Chine. Elle constitue une étape importante dans cette méthode E.M./T.P. car l'aisance et la précision de la cartographie des feux en chambre noire (au Mappograph) en dépendent énormément.

L'inconvénient de cette opération réside aux faits que les limites réelles des feux sont souvent modifiées (par maladresse de l'interprète) et que les documents sont inutilisables à d'autres fins.

II.1.3 - Situations particulières

1. Cas de faible contraste des Epreuves-Minutes

Ceci proviendrait soit du traitement photographique (non maîtrise de tous les paramètres sensitométriques) soit des conditions atmosphériques (couverture nuageuse ou brumeuse). Le résultat est qu'il est pratiquement impossible de différencier les différentes tonalités qui constituent notre principal critère de discrimination des feux.

Dans l'un et l'autre cas, l'interprète pourra s'aider d'une table lumineuse (pour le rehaussement du contraste de l'Epreuve--Minute du bas) et d'une lampe (pour l'Epreuve-Minute de dessus).

Dans certains cas, il devra identifier et délimiter les feux de l'Epreuve-Minute de Période O_i sur celle de période O_{i+1} qui sera alors comparée (superposée) à l'Epreuve-Minute de période O_{i-1} : des annotations devront être faites pour permettre la différenciation des feux des 2 périodes lors du report au Mappograph .

2. Cas des petits feux

Bien souvent, l'existence de feux de petite surface (surtout en début de saison sèche) oblige l'interprète à utiliser un crayon gras bleu ou rouge afin de faciliter leur repérage sur l'Epreuve-Minute.

3. Cas des feux en bordure de scène

Certains feux se trouvent coupés parce qu'en bordure de scène. On devra alors les interpréter sur la scène adjacente de même période.

II.2 - La cartographie des feux

II.2.1 - Le Mappograph et la phase préparatoire du report.

Dans cette méthode, la cartographie des feux se fait grâce à l'appareil optique agrandisseur qu'est le Mappograph : il permet la projection sur un plan horizontal de l'Epreuve-Minute préalablement placée en position verticale devant un système de miroirs.

Le Mappograph comprend deux bras mobiles dont la manipulation permet à l'opérateur d'obtenir le coefficient d'agrandissement ou de réduction désiré. Dans notre cas, le coefficient d'agrandissement est de 3.6 puisque nous voulons passer du 1/1.800.000e (des Epreuves-Minutes) au 1/500.000e (des fonds de carte) : cette opération d'agrandissement est appelé mise à l'échelle.

L'opérateur devra songer avant le report des feux en chambre noire à préparer tout le matériel dont il a besoin (séquence d'Epreuves-Minutes, adhésifs, porte-mine 0.5 mm...) afin d'éviter les pertes de temps inutiles.

II.2.2 - Le report des feux sur le fond de carte

Après avoir placé l'Epreuve-Minute dans le Mappograph, l'opérateur devra "caler le fond de carte" c'est-à-dire faire correspondre la plupart des amers homologues. La plupart du temps cette opération de calage n'est pas aisée compte tenu du fait que les Epreuves-Minutes ne sont pas géométriquement corrigées : nous estimons le fond de carte calé quand nous obtenions la superposition de 3 amers homologues.

Une fois le fond de carte calé, on procèdera à son immobilisation par des adhésifs.

C'est alors que l'opérateur procèdera au report des feux (dont les contours apparaîtront nettement grâce à l'opération antérieure de délimitation à l'encre de Chine).

Le report consiste à relever à la mine noire 0.5 mm les contours des feux et à les dater de la période O1 de l'Epreuve-Minute projetée s'il n'existe pas d'indications (annotations) contraires.

Une fois tous les feux d'une Epreuve-Minute de période O1 donnée reportés, on la remplace par celle de la période suivante et on procède de nouveau au calage du fond de carte avant le report de ces nouveaux feux qui devront être datés de la période correspondant à l'Epreuve-Minute.

II.2.3 - La cartographie finale

Il était prévu que la minute de travail ainsi réalisée devait être complétée par les tirages papiers au 1/500.000e : ce ne fut pas le cas car nous avons attendu en vain les films standards devant être utilisés à cet effet et avons décidé de sauter cette étape et de passer à la phase de finalisation afin de pouvoir respecter nos engagements envers le Ministère de l'Environnement et du Tourisme.

C'est ainsi que deux des - minutes de travail (Sud-Ouest et Centre-Sud) ainsi réalisées au Mappograph ont été reportées au propre par un dessinateur sur les deux fonds de carte correspondants (Sud-Ouest et Centre-Sud), tramées par mois et reproduites en plusieurs exemplaires au diazo.

II.3 - L'exploitation des données contenues dans la carte des feux

II.3.1 - Le planimétrage

Il a été totalement réalisé au planimètre polaire à affichage électronique (offrant la possibilité d'une mise à l'échelle directe par la composition d'un facteur d'échelle).

L'opération consistait à faire le pourtour des surfaces brûlées avec le bras mobile de l'appareil muni d'une loupe et d'un index circulaire (cf. Annexe 3).

Tous les feux des fonds Sud-Ouest et Centre-Sud ont été planimétrés de cette manière. Les résultats de ce planimétrage sont consignés dans le Tableau 2.3.

II.3.2 - L'inventaire des foyers

Ayant défini tantôt le foyer de feu comme le point de départ (l'emplacement initial) d'un feu, nous nous sommes vus obligés de retenir comme foyer parmi un ensemble de feux contigus celui de plus ancienne période: ceci n'étant pas toujours vérifié, nous avons considéré les résultats de l'inventaire comme une sous-estimation du nombre réel de foyers.

III - LA METHODE "TIRAGE-PAPIER/MINUTE DE TRAVAIL ETABLIE

A PARTIR DES EPREUVES-MINUTES" DU "T.P./MINUTE E.M."

Dans cette méthode, l'identification et la délimitation des feux se font sur les tirages-papiers et leur datation à partir de la minute obtenue par la méthode E.M.

III.1 - L'interprétation des feux

III.1.1 - L'identification et la délimitation des contours des feux.

L'identification et la délimitation des contours des feux sont basées uniquement sur l'exploitation des données des tirages-papiers; l'interprète devra chercher à discriminer les zones brûlées des zones non brûlées par la considération des différentes tonalités c'est-à-dire par la seule analyse spectrale: ceci constitue la principale limitation de cette méthode car l'analyse des variations temporelles et spatiales n'y est pas associée.

La délimitation des zones brûlées se fait au crayon gras.

III.1.2 - Le report des feux

Il est réalisé sur un fond de carte à la mine bleue 0.5 mm. Sur ce fond, nous avons seulement distingué les zones brûlées de celles non brûlées par le signe V pour les zones non brûlées.

III.1.3 - La datation et le complément des limites des feux

Nous envisageons de procéder après le report à la datation et au complément des limites des feux par superposition de la carte des feux établie à partir de la méthode

TABLEAU 2.3 - ETAT DES SURFACES BRULEES ET DES FOYERS AU DEBUT DE LA SAISON SECHE 1987/88 : OCTOBRE A DECEMBRE 1986

FOND CARTO SUD - OUEST

Périodes Provinces	Périodes												TOTAL	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
BOURKINA (P)	S.B.		19	1		22	351	444	151	110				1.098
	F		9	1		5	129	41	2	1				188
COMOE (t)	S.B.					29	185	220	472	843	14.146	217		6.112
	F					11	100	124	70	9	10	5		329
HOUEI (P)	S.B.		97	79	11	402	758	617	579	845	33	53		3.474
	F		35	20	4	52	83	37	12	5		7		255
KENEDEGOU (P)	S.B.	86	36	165	196	419	120	662			30			1.734
	F	10	36	66	42	40	64	24			2			284
KOUSSI (P)	S.B.			21		9	10	57	20	13	33			12
	F			3		2	3	3			1			12
MOUHOUN (P)	S.B.	26				91	329	197						643
	F	7				11	20	7						45
POHNI (t)	S.B.					137	138	66	550	338		486		1.715
	F					26	42	26	22	3		11		130

FOND CARTO CENTRE-SUD

BAZEKA (t)	S.B.			5	16	53	60	67	73	16	21		149	464
	F			3	1	4	13	8	5	4	2		14	54
BOUGOURIBA (P)	S.B.						92	73		46	15	13		239
	F						8	1		1	2	1		13
BOLLGOU (t)	S.B.			3	58	3	8	67	298	213	84		236	970
	F			2	22	7	10	7	25	6	5		26	84
GANZOURGOU (t)	S.B.				8	8	3	7	3		1		26	56
	F				4	3	2	3	2		1		8	23
KADTGO (t)	S.B.										3			3
	F										1			1
KOURITENGA (P)	S.B.			16				3	1	1			4	25
	F			6				2	1	1			3	13
MOUHOUN (P)	S.B.					5	79	38	113	73		38		346
	F					1	7	2	2			2		14
NAHOURI (t)	S.B.				8	1	5	347	150	203	15		8	737
	F				11	1	7	82	18	9	2		5	
NAMENTENGA (P)	S.B.									2			1	3
	F									1			1	2
SANGHE (t)	S.B.		12	6		36		25	5	532	58	5		626
	F		6	2		2		1	3	2		2		18
SANKIENGA (P)	S.B.			5		3								8
	F			1		1								2
SISSILI (t)	S.B.	1		3		6	6	510	1250	1354	695	1361		5.186
	F	2		1		4	7	40	135	13	6	1		
ZOUANEGDO (t)	S.B.			19	27			33	72	68	31	44	148	442
	F			12	9			9	2	15	6	3	11	68

EXPLICATION DES SIGLES

- 1°) : 1er - 08 Octobre
- 2°) : 08 - 16 "
- 3°) : 17 - 24 "
- 4°) : 25 Octobre - 1er Novembre
- 5°) : 02 - 09 Novembre
- 6°) : 10 - 17 "
- 7°) : 18 - 25 "
- 8°) : 26 Novembre 03 Décembre
- 9°) : 04 Décembre - 11 Décembre
- 10°) : 12 - 19 Décembre
- 11°) : 20 - 27 "
- 12°) : 28 Décembre - 04 Janvier 1987.

S.B. étendue de surfaces brûlées en km²
F : Nombre de foyers de feu
P : Partie de la province relevant du
fond cartographique concerné
t : Totalité de la province.

"Epreuves-Minutes" et de celle établie dans la présente méthode

Dans la pratique cela s'est avéré presque impossible car il était rare de pouvoir repérer sur les deux fonds des feux homologues.

La comparaison de la méthode "E.M." et de celle "Tirage-papier/minute "E.M.", nous permet de connaître les avantages et les inconvénients de l'une et l'autre méthodes :

- La méthode "E.M." a l'avantage d'être moins onéreuse et surtout de permettre d'avoir une idée plus ou moins précise sur l'évolution temporelle des feux ; seulement, elle a l'inconvénient de manquer d'une certaine précision géographique.

- La méthode "Tirage-papier/minute "E.M." a l'avantage d'avoir une "précision géographique" satisfaisante ; elle a l'inconvénient de ne pas permettre à l'interprète de dater avec précision les périodes d'apparition des feux comme dans la méthode "E.M."

On peut alors penser à trouver une autre méthode mixte visant à exploiter les principaux avantages de ces deux méthodes c'est l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE 3 : LA METHODE "TIRAGE-PAPIER/EPREUVE-MINUTE"

Cette méthode consiste à identifier et à délimiter l'étendue des feux et à les dater à partir de la consultation des Epreuves-Minutes.

I - L'INTERPRETATION DES FEUX

Nous distinguons dans cette méthode, deux procédures d'interprétation toutes les deux basées sur l'analyse des niveaux de gris : l'une est dite temporelle et l'autre spatiale.

I.1 - La procédure temporelle

Elle consiste dans un premier temps à repérer l'emplacement d'un feu de configuration déterminée sur le tirage-papier et dans un deuxième temps à "parcourir" les Epreuves-Minutes des différentes périodes dans le but de décélérer le feu homologue (de même configuration mais 3.6 fois plus petit), de le délimiter et de le dater (au crayon gras de la période de l'Epreuve-Minute sur laquelle le feu homologue a été décéléré pour la première fois ; cette procédure ne semble pas tellement pratique surtout si le nombre des Epreuves-Minutes est important.

I.2 - La procédure spatiale

Elle consiste à "se fixer" à une Epreuve-Minute de Période O_i donnée, à repérer les feux de cette période et à parcourir le tirage-papier afin d'y décélérer les feux de configuration homologue, de les délimiter et de les dater (au crayon gras) de la Période de O_i . Cette procédure semble plus pratique et plus rapide si les feux de la Période O_i se décèlent aisément sur les deux documents.

Dans la pratique, nous combinons les 2 procédures.

II - LA CARTOGRAPHIE DES FEUX

II.1 - La conception de la carte

Cette partie de l'Etude qui avait été faite par la D.A.U. (Direction de l'Assistance aux Utilisateurs) bien avant le début des travaux, a consisté à définir d'une part l'échelle, le format des différents fonds de carte, le titre, la légende (en résumé, l'habillage) et d'autre part le contenu des fonds.

II.1.1 - Le contenu des fonds de carte

Comme exposé au Chapitre II-paragraphe I (2e partie), les différents fonds comportent des éléments planimétriques comme les plans d'eau, les réseaux hydrographique et routier, les chefs-lieux et limites de province et les frontières d'Etat.

C'est sur un tel fond de carte que devront être reportés les feux des différentes périodes interprétés sur les tirages-papiers au 1/500.000e des films standard MSS4 dont le système de projection est celui traverse (similaire à MTU).

Initialement, il était prévu qu'à chaque Période de feu correspondrait une trame donnée. Mais pour des raisons pratiques de non lisibilité des informations sur une telle carte, nous avons renoncé à ce tramage pour adopter un système de hachures uniformes pour toutes les Périodes dont les numéros devront être reportés sur la carte. Ces hachures permettraient à n'importe quel observateur de distinguer à première vue les zones brûlées des zones non brûlées et par la suite par un examen plus approfondi de différencier diachroniquement (selon le numéro des Périodes) les zones brûlées entre elles.

II.1.2 - L'habillage de la carte des feux de brousse

- L'échelle numérique et graphique,
- Le titre,
- la légende,
- l'orientation ou direction,
- la carte de situation,
- la date d'édition,
- les noms des personnes et du service ayant participé à la réalisation.

L'échelle du 1/500.000e a été choisie pour cette carte thématique des feux de brousse parce qu'elle constitue au stade actuel de l'Etude l'échelle minimale la mieux adaptée pour cerner le phénomène au niveau de toute l'étendue du territoire Burkinabè (274.200 km²).

II.2 - La production de la carte

II.2.1 - La rédaction de la minute de travail

II.2.1.1 - Principe général

La rédaction de la minute consiste en la transcription des résultats de l'interprétation c'est-à-dire au report sur la minute de toutes les limites et dates des feux

indiquées au crayon gras ; on procède à ce report par calque des tirages-papiers à l'aide d'une table lumineuse.

II.2.1.2 - Cheminement pratique

a. Au niveau du fond de carte

L'interprète veillera avant toute chose à caler (superposer les plans d'eau et/ou les cours d'eau homologues) la minute par rapport au tirage-papier préalablement immobilisé par des adhésifs. Il devra procéder à ce calage par zone en vue de minimiser les problèmes de la non superposition simultanée de tous les amers due à la diversité des deux systèmes de projection (cylindrique pour les tirages-papiers et conique pour les fonds de carte).

Après cette opération, l'interprète pourra procéder au report des limites et des dates des feux. Il ne devra pas oublier de différencier les zones brûlées (comportant un numéro de Période) de celles non brûlées par le signe "V", ceci en vue de faciliter les opérations de report au propre par le dessinateur.

L'interprète devra faire attention aux bordures des scènes adjacentes qui devraient en principe comporter les mêmes feux ; ce n'est toujours le cas puisqu'un changement plus ou moins radical de la radiométrie (dû à l'apparition de nouveaux feux ou à la baisse de l'impact de la tonalité des cendres) peut intervenir pendant l'intervalle de temps séparant l'enregistrement des deux scènes adjacentes surtout quand celui-ci est nettement plus important que la normale c'est-à-dire 1 à 2 jours : c'est le cas des scènes 197-51 et 52 du 26 Décembre et des scènes adjacentes 196-51 et 52 du 11 Décembre : l'intervalle de temps d'enregistrement est environ 13 fois supérieur à la normale.

b. Au niveau de l'ensemble des fonds de carte.

Il arrive souvent qu'une scène donnée soit à cheval entre plusieurs fonds de carte. L'interprète devra alors veiller à caler dans un premier temps les fonds concernés les uns par rapport aux autres et dans un deuxième temps l'ensemble des fonds calés par rapport au tirage-papier ; il pourra alors procéder au report des limites des feux qui sont à cheval entre les différents fonds et aussi à celui des autres feux de la même scène.

II.2.2 - La production du support définitif par le dessinateur

Les minutes de travail ainsi réalisées sont apportées au dessinateur qui reprend au Rotring au verso de la minute les limites des feux.

Pour la datation, il devra utiliser des chiffres à petit caractère pour les feux de faible étendue et des chiffres à grand caractère pour les feux de grande étendue.

Pour permettre à tout utilisateur de différencier les zones brûlées, de celles non brûlées, le dessinateur devra hachurer uniformément toutes les zones brûlées en évitant de passer les hachures sur les numéros de période.

La dernière opération de ce report au propre est l'habillage de la carte qui consiste en l'inscription du titre, des échelles numériques et graphiques, de la légende, de l'orientation, de la carte de situation ... (cf. II.1.2).

II.2.3 - L'étape de finalisation et de reproduction définitive

Le report au propre du dessinateur est tiré en un exemplaire au diazo* (contre-calque) en vue de permettre à l'interprète de corriger certaines imprécisions ou râtés de la rédaction de la minute ou du report au propre.

La correction se fait sur le contre-calque en se référant à la minute et surtout aux tirages-papiers interprétés (documents de base).

Après la correction de toutes les imprécisions sur le support définitif par le dessinateur, on procède au tirage diazo de la carte ainsi prête au nombre d'exemplaires désiré c'est un de ces exemplaires qui est joint, à la fin de ce document.

Ces exemplaires constituent des documents de travail dont l'exploitation fait l'objet du paragraphe suivant.

* diazo : appareil d'impression utilisant d'une part des radiations lumineuses pour imprimer les caractères d'un support translucide (calque) sur une émulsion (contre-calque) et d'autre part de la vapeur d'ammoniaque pour le traitement de cette émulsion irradiée.

III - L'EXPLOITATION DES DONNEES CONTENUES DANS LA CARTE DES FEUX DE BROUSSE

La carte des feux obtenue à l'issue des opérations exposée au Paragraphe II contient 2 types de données :

- les données planimétriques : les surfaces brûlées et leur foyer matérialisés par des limites et des hachures uniformes
- les données temporelles : les Périodes matérialisées par des numéros.

la combinaison de ces 2 types de données et leur croisement avec celles relatives à la localisation (province, fond de carte) et au climat (pluviométrie, écologie) nous offre beaucoup de possibilités d'analyse du phénomène des feux de brousse à travers la définition et l'exploitation de certains paramètres.

III.1 - L'extraction des données

Elle consiste à extraire de la carte des feux l'étendue des surfaces brûlées et le nombre des foyers de feu par province et par zone écologique respectivement par le planimétrage et par l'inventaire des foyers de feu.

Dans la méthode "Epreuve-Minute", nous avons procédé à un planimétrage et un inventaire exhaustifs: cette procédure est très coûteuse en temps et en matériel et donc ne se prête pas à ce genre d'Etude dont la précision des résultats de l'ordre de 5 % pourrait être bien atteinte par l'utilisation de méthodes statistiques d'estimation plus rapides (donc méthodes moins coûteuses) et à la portée de n'importe quel utilisateur.

III.1.1. - Le planimétrage des surfaces brûlées

La méthode statistique présumée pour le planimétrage des surfaces brûlées est celle de la grille des points.

Cette méthode consiste à superposer une grille transparente de maille (carrée) déterminée sur la province dont l'étendue des surfaces brûlées doit être évaluée.

Les dimensions de la maille sont fonction de la précision avec laquelle on voudrait estimer l'étendue des feux. A l'intérieur de chaque maille carrée, se trouve un petit point circulaire qui peut avoir 36 emplacements différents quelque soient les dimensions de la maille : la probabilité d'avoir un point au même emplacement est alors de $\frac{1}{36}$; d'où le caractère aléatoire de cette méthode.

36

En comptant les points et en calculant les surfaces comme expliqué en Annexe 3; nous sommes arrivés à tester les grilles de maille $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ et de $0.5\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$. Le détail du test est consigné en Annexe 3.

L'interprétation des résultats de ce test et la conclusion sont basées sur le Tableau récapitulatif présenté à la page 27 Tableau des résultats interprétés du test de planimétrage :

Tableau 2.4.

Tableau 2.4 - RESULTATS INTERPRETES DU TEST DE PLANIMETRAGE

TESTS	PERIODES	2	7	8	9	TOTAL
1. Test-témoin : planimètre polaire		4	19.9	2308	1397	3908
2. Grille 0.5		9.5	177.6	2372.3	1528.7	4088
3. Grille 0.5 corrigée		4	177.7	2373.6	1529.5	4085
4. Grille 1 (a)		48.1	216.6	2623.3	1504.2	4392
5. Grille 1 (b)		0	215	2544.8	1672.6	4432
6. Grille 1 moyenne (a) et (b)		24.0	215.8	2584.0	1588.4	4412
7. Grille 1 moyenne corrigée		4	216.2	2589.1	1591.9	4401
Ecart absolu rapportés en %						
(2) / (1)		112.5	- 10.7	2.8	9.4	4.2
(3) / (1)		0	- 10.7	2.8	9.5	4.5
(4) / (1)		1102.5	8.8	13.6	7.7	12.4
(5) / (1)		- 1	8.0	11.4	19.7	13.4
(6) / (1)		500	8.4	11.9	13.7	12.9

Le but de ce test étant de choisir la méthode de planimétrie la plus rapide, nous avons retenu la méthode de planimétrie par la grille 1 cm X 1 cm avec les précisions suivantes :

- quand le nombre de points d'une période donnée est inférieur à 3, on réévalue sa surface par le planimètre polaire,
- quand le nombre de points est compris entre 3 et 10, on procède à 2 répétitions supplémentaires avec la même grille (1 cm X 1 cm),
- quand le nombre de points est supérieur à 10, on considère que la précision de la répétition est bonne et on conserve son résultat.

Tous les résultats obtenus sont consignés dans des fiches similaires à celle du Tableau 3.1.

III.1.2 - L'inventaire des foyers de feu

Nous préconisons déjà dans notre Prémémoire (15 Juillet 1987) un inventaire basé sur une méthode statistique quant au décompte du nombre de foyers.

Le manque de temps a fait que nous n'avons pas pu pendant ce stage de 6 mois faire le test devant conduire au choix de la méthode statistique la plus adaptée : c'est à cette opération d'inventaire des foyers que nous allons nous atteler pendant nos vacances.

Il faudra au préalable avant tout test définir clairement le terme "foyer de feu".

Techniquement, cet inventaire devra être basé sur la sensitométrie (cf. Annexe 1-paragraphe "Traitement des informations enregistrées") des films négatifs au 1/1.000.000e nécessitant l'utilisation d'un densitomètre.

III.2 - L'utilisation des données extraites de la carte des feux

Elle consiste après l'extraction des données brutes de la carte de travail à trouver des paramètres dépeignant au mieux certaines "facettes" du phénomène des feux de brousse.

III.2.1 - Les paramètres

- III.2.1.1 - Les surfaces brûlées et le nombre de foyers sont les principaux paramètres : on pourra calculer :
 - la surface moyenne brûlée par foyer,
 - la surface totale brûlée par période,
 - le nombre de foyers par période.

III.2.1.2 - La combinaison "surface brûlée-nombre de foyer-localisation".

a) Niveau provincial

Il s'agit à ce niveau de trouver des paramètres permettant d'avoir une vision globale du phénomène dans le contexte géographique, social, économique et culturel.

On pourra calculer :

- le nombre de foyers (statistiquement)
- la surface totale brûlée,
- le nombre de foyers par période,
- la surface brûlée par période ou vitesse de consommation de la brousse,
- la densité des foyers :
$$\frac{\text{Nombre de foyers}}{\text{Surface provinciale}}$$
- le pourcentage (%) brûlé :
$$\frac{\text{STB}}{\text{Surface provinciale}}$$

c) Niveau national ou régional

A ce niveau le phénomène pourra être vu dans toute son ampleur dans le contexte général socio-économique, culturel et écologique. On pourra essayer de faire une étude corrélatrice entre le phénomène des feux de brousse et la pluviométrie générale de l'année.

III.2.2 - L'exploitation des paramètres en vue de l'établissement des cartes synthétiques.

Il s'agit d'établir à partir des données brutes extraites de la carte de travail une (ou plusieurs) carte(s) synthétique(s) permettant à n'importe quel utilisateur d'une telle carte de saisir visuellement et/ou quantitativement (indirectement par la consultation de la légende) les informations contenues dans une telle carte.

Ces cartes synthétiques, selon leur objectif, peuvent utiliser un ou plusieurs des paramètres définis précédemment.

Ainsi, on peut établir une carte synthétique régional ou national dans le but de montrer l'importance relative (pourcentage) de la répartition des surfaces brûlées de chaque unité (province, zone écologique ...) : une telle carte utilisant à cet effet des trames ou des hachures expressives.

On peut aussi établir une "carte synthétique quantitative des surfaces brûlées" : elle pourra alors utiliser des figures géométriques (cercles, carrés, rectangles ...) de tailles proportionnelles aux différentes valeurs absolues.

Les planches 3.3 à 3.6 constituent des exemples de ces cartes synthétiques.

3EME PARTIE : APPLICATION DE METHODE "TIRAGE-PAPIER/
EPREUVE-MINUTE" SUR LA ZONE TEST DU
SUD-OUEST DU BURKINA

PRESENTATION DE LA ZONE - TEST

La Zone-test du Sud-Ouest qui s'étend sur 63.476 km² correspond à la région du Burkina comprise approximativement entre

- 9°20 et 12° de latitude Nord,
- 2.7° et 5°30 de longitude Ouest : cf. Planche 3.1.

Administrativement, elle comprend :

- la partie Ouest de la Province de la Bougouriba (5644 km² soit 79.6 % de la superficie provinciale),
- la totalité de la province de la Comoé, 18.393 km²,
- la plus grande partie (Sud) de la Province du Houet (16.329 km² soit 99.1 % de la superficie provinciale),
- la plus grande partie (Sud) de la province du Kéné Dougou (8.213 km² soit 98.8 % de la superficie provinciale),
- une petite portion de la partie Sud de la Province de la Kossi (873 km² soit 6.6 %),
- la partie Sud de la Province du Mouhoun (3.663 km² soit 35.0 % de la superficie provinciale),
- et la totalité de la Province du Poni (10.361 km²) :

Source : I.N.S.D. - D.D.A.T.

Ecologiquement cette région du Sud-Ouest correspond au Domaine phytogéographique Soudanien où "les précipitations, croissent du nord au Sud, vont de 750 mm à 1.400 mm" et où "la saison sèche dure de 4 à 7 mois". (G. Sita).

Ce domaine phytogéographique a une flore comprenant une espèce ligneuse caractéristique, Isoberlinia doka et des espèces herbacées comme Aristida ascensionis, Cenchrus biflorus Schoenefeldia gracilis ...

Le domaine Soudanien comporte des formations végétales savaneuses (forêt sèche dans les Bois sacrés, forêt claire des régions humides, savanes boisée, arborée, herbeuse ...) et des galeries forestières plus ou moins denses le long des cours d'eau.

Le domaine Soudanien est divisé en secteur phytogéographique Soudanien septentrional (précipitations de 750 mm à 1.000 mm) et en secteur phytogéographique Soudanien méridional (1.000 mm à 1.400 mm) dans lequel est compris notre zone-test.

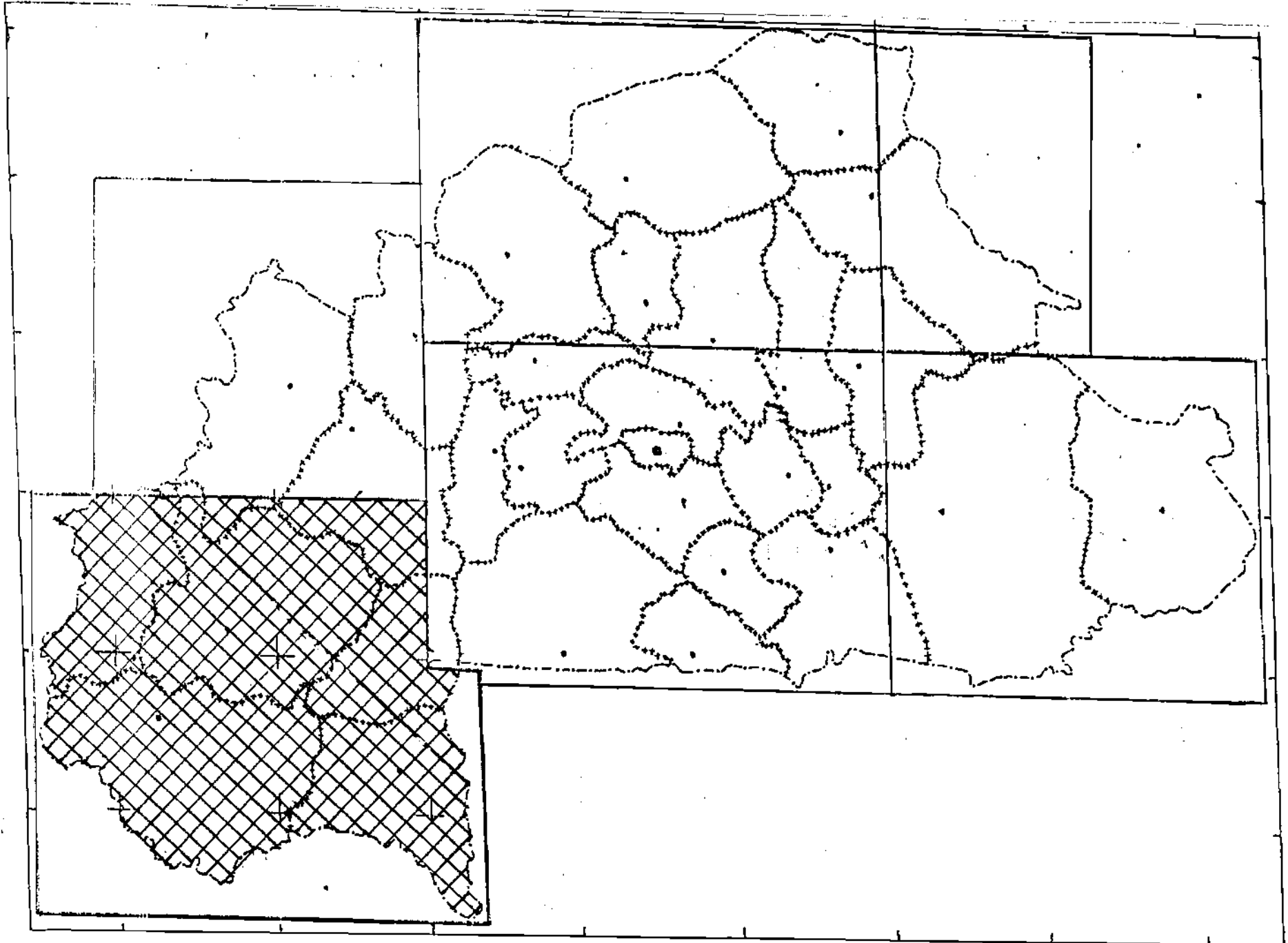
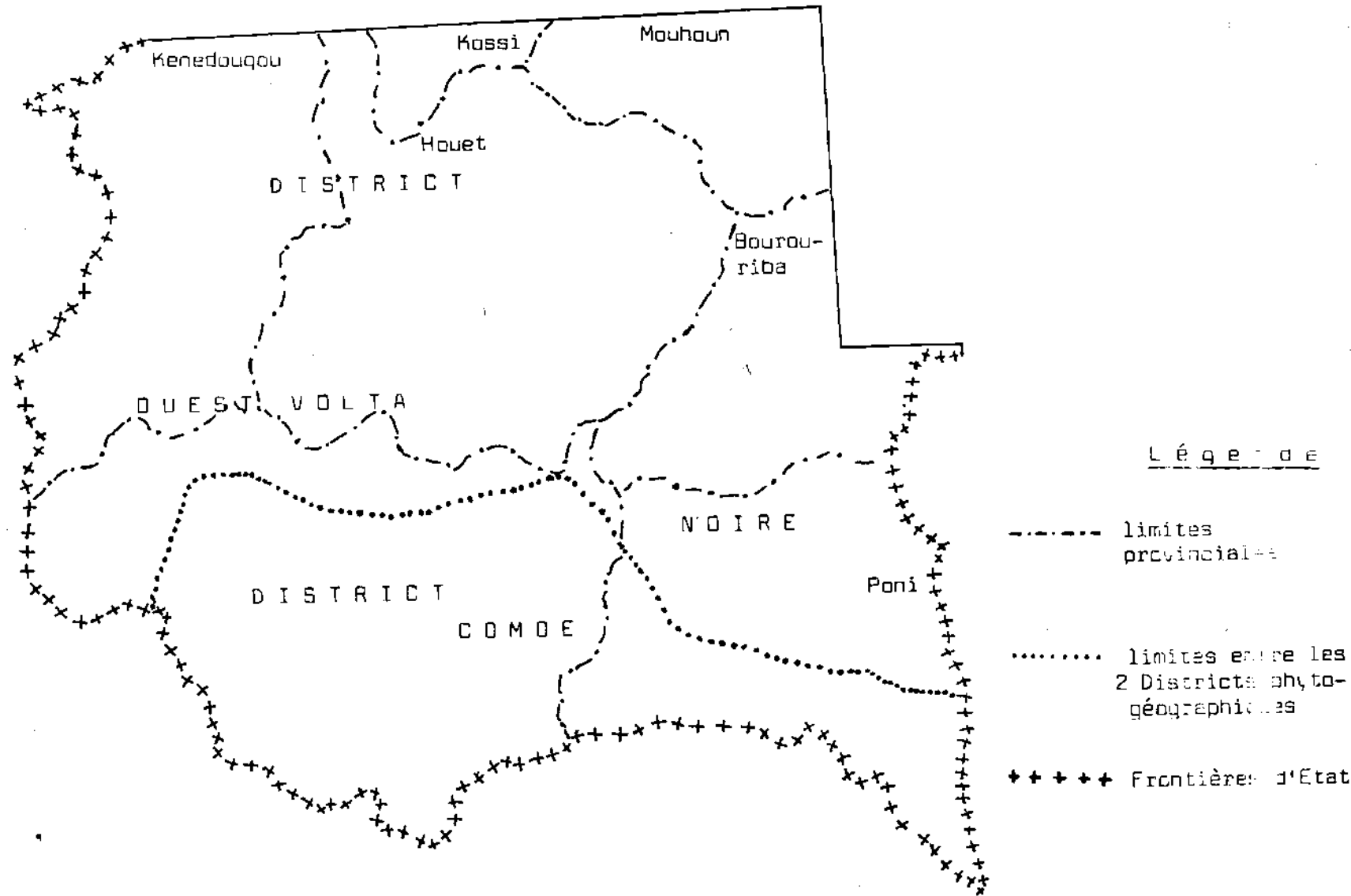


Planche 3.1 - Situation de la Zone - test (hachurée)

Planche 3.2 - Présentation des 7 Provinces et 2 Districts phytogéographiques de la Zone - test.

Echelle : 1:2.000.000



Le secteur méridional comprend en tout 4 districts dont :

- le district phytogéographique Ouest-volta à forêts-galeriers "denses semi-décidues" à espèces guinéennes (Antiaris africana, Antidesma venosum ...) ;

- le district phytogéographique de la Comoé de climat sub-Soudanien (1.200 mm à 1.400 mm de précipitations, 4 à 5 mois secs, forte densité des espèces ligneuses ...).

Ce sont ces 2 districts phytogéographiques qui couvrent notre zone-test.

Les populations vivant dans cette région appartiennent à trois principaux groupes ethniques :

- le groupe Sénoufou, Toussian, Gouin, Karaboro, Turka, réparti dans les provinces de Kéné Dougou et de la Comoé ;

- le groupe Bobo (Bobo-fing, Bobo-Dioula, Bwa) réparti dans les Provinces du Houet, Kéné Dougou, Kossi, Mouhoun, Bougouriba, ;

- le groupe Lobi-Dagari réparti dans les provinces du Poni, de la Comoé et de la Bougouriba.

Source : "Mon pays, la Haute-volta". Abbés T. Salon, B. ZONGO et G. ILBOUDO.

En 1984, cette région avait une densité de population croissant de 0 à 30 habitants/km² au fur et à mesure que l'on va du Sud vers le Nord, et une population d'environ 1.614.400 habitants.

CHAPITRE 1 : METHODE D'ETUDE

La méthode d'Etude que nous avons utilisée pour cette zone-test est indiquée en 2e Partie-Chapitre 3.

La période d'Etude correspond au début de la saison sèche 1986/1987 c'est-à-dire du 1er Octobre au 31 Décembre 1986. L'unité de période d'Etude étant la période de 8 jours, cette période du 1er Octobre au 31 Décembre a été divisée en 12 périodes numérotées de 1 à 12 : cf. Notice explicative du Tableau d'Inventaire des scènes : Tableau 1.1.

I - Le matériel utilisé

Il comprend :

- Les 36 Epreuves-Minutes (déjà interprétées dans la méthode "Epreuves-Minutes") des scènes 197-52 (10 E.M.), 197-53 (10 E.M.) 196-52 (8 E.M.) et 196-53 (8 E.M.) d'octobre à Décembre 1986, ;
- les 4 tirages-papiers "noir et blanc" des mêmes scènes et de la même période.
- une table lumineuse,
- un crayon gras rouge,
- le fond cartographique Sud-Ouest
- un porte-mine 0.5 mm à mine bleue
- un crayon de couleur jaune
- la grille 0.5 cm X 0.5 cm.

II - L'interprétation des feux

II.1 - L'identification des feux et leur délimitation

Nous avons pu réaliser presque simultanément ces deux opérations en analysant les différents niveaux de gris qui se présentaient à nous.

Généralement, les feux de tonalité noir foncé appartiennent à la Période 0i à laquelle l'enregistrement de la scène a été effectuée ; de même les feux de tonalité plus claire correspondent aux périodes (0i-1, 0i-2. ... 01) plus anciennes.

Il est à remarquer que sur ces scènes de Décembre, il est pratiquement impossible d'identifier les feux des 6 premières Périodes dont la tonalité se confond assez facilement à celle des zones non brûlées : c'était une des principales difficultés rencontrées dans l'identification et la délimitation des zones brûlées. Dans certains cas, ce problème est résolu par la consultation des Epreuves-Minutes.

II.2 - La datation par période

Généralement nous procédions d'abord à la datation des feux récents (tonalité "noir foncé", gris sombre, ...) et ensuite à celle des anciens feux (tonalité grise).

Cette opération de datation par période est basée sur la consultation des Epreuves-Minutes disponibles ; de ce fait, il peut se faire que des feux d'une période déterminée n'apparaissent pas dans la carte : c'est le cas de la période 11 des scènes 197-52 197-53.

III - La cartographie

III.1 - La réalisation de la minute de travail

Elle était une opération relativement facile puisque toutes les informations nécessaires (limites des feux, périodes) avaient déjà été préparées pendant l'interprétation.

La seule difficulté que nous avons rencontrée est celle de la non superposition des amers homologues du tirage-papier et du fond de carte (cf. 2e partie- Chapitre 1 - paragraphe I).

La minute de travail a été réalisée au porte-mine 0.5 mm à une mine bleue sur le fond de carte Sud-Ouest.

III.2 - La réalisation du support définitif

Elle consistait à calquer la minute de travail (réalisée au porte-mine 0.5 mm à mine bleue) sur un autre fond de carte de la même région (Sud-Ouest) au Rotring 0.35 mm à l'encre de Chine.

Cette opération a consisté aussi en la réalisation des hachures des zones de feux, la datation et l'habillage (titre, légende, échelle ...) : cf. carte jointe (à la fin du document).

CHAPITRE 2 : L'EXPLOITATION DES DONNEES CARTOGRAPHIQUES

Ce Chapitre pour but de montrer comment nous avons utilisé les données extraites de la carte des feux (étendue des zones brûlées) pour établir des cartes synthétiques permettant d'une part de diminuer la quantité de données contenues dans la carte initiale et d'autre part de traduire par le langage cartographique les corrélations existant entre certaines réalités (géographique, climatique, écologique ...) et le phénomène des feux de brousse.

I - L'extraction des données de la carte des feux

Elle a consisté en l'évaluation par la méthode de la grille des points de l'étendue des zones brûlées par province et par zone écologique.

I.1 - L'évaluation des surfaces brûlées au niveau des 7 Provinces

Pour avoir des résultats totaux de "bonne précision" (5%) nous avons préféré utiliser la grille à maille de 0.5 cm X 0.5 cm. Ceci n'a pas nécessité la procédure de correction des valeurs de chaque octave comme dans le cas du test (cf. 2e partie - Chapitre 3 - Paragraphe III) car nous voulions que nos analyses porte

seulement sur les surfaces totales provinciales brûlées compte tenu des difficultés que nous avons rencontrées pour la datation des feux des zones à forte occupation telles que la vallée du Kou, de la Bougouriba, le Nord de la Province de la Comoé...

Les résultats de ce planimétrage (en km²) par province et par période ont été récapitulés dans les Tableaux 3.1 et 3.3.

I.2 - L'évaluation des surfaces brûlées au niveau des 2 Districts phytogéographiques de la Comoé et de l'Ouest Volta Noire.

Nous avons utilisé ici la grille de maille 1 cm X 1 cm pour gagner du temps. Le planimétrage a porté seulement sur les surfaces brûlées du District de la Comoé dont les résultats nous ont permis de déduire ceux des surfaces brûlées du District de l'Ouest Volta noire : ceci nous a amené à faire des corrections dont le détail est consigné dans le Tableau 3.2.

Le Tableau 3.3 récapitule les surfaces brûlées (en km²) des 2 Districts phytogéographiques.

II - L'utilisation des données extraites

Les données quantitatives extraites de la carte des feux et récapitulées dans les Tableaux 3.1 et 3.3 peuvent être utilisées pour calculer plusieurs paramètres permettant de mettre en relief certains aspects du phénomène des feux:

Nous avons choisi dans le cas de cette étude-test de mettre en exergue l'aspect "répartition spatiale" du phénomène des feux en utilisant les données des Tableaux 3.4 et 3.5.

FICHE DE PLANIMETRAGE DES SURFACES BRULEES

Date : 18/11/87

Carte : Sud-Ouest Province : District Comoé

Grille utilisée : 1cm X1cm

Opérateur : COMPAORE + TARNAGDA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Zones non brûlées
	1/2 point					1.5 points	85 points	119.5 points	17 points	-	-	434.5 poin
	6.25 km ²					77 km ²						
	6.25 km ²					77 km ²	2,187.05 km ²	3,074.73 km ²	437.41			11,179.68

Surface Totale : 16.966 km²

Nombre Total de Points : 658

Surface Nette : 16.882.75 km²

Nombre Total net de Points : 656

Tableau 3.4 - SURFACES TOTALES BRULEES, POURCENTAGES BRULES ET
SURFACES REGIONALES MOYENNES PONDEREES PAR PROVINCE

Données Provinces	SUPERFICIE (km2) PROVINCIALE	SURFACE TOTALE BRULEE (km2)	POURCENTAGE BRULEE (%)	SURFACE REGIONALE MOYENNE PONDEREE
BOUGOURIBA p	5644	2610	46.2	2240
COMMOE t	18393	7074	38.4	7299
HOUET p	16329	6836	41.8	6480
KENEDOUGOU p	8213	4480	54.5	3259
KOSSI p	873	306	35.1	346
MOUHOUN p	3663	1450	39.5	1454
PONI t	10361	2432	23.4	4111
TOTAUX	63476	25188	39.7	25188

Sp = Surface Régionale moyenne pondérée

$$Sp = Sv \times d \quad \text{où}$$

Sv = Surface de l'unité (province ou district)

d = densité moyenne de la région = $\frac{\text{Surface Totale brûlée}}{\text{Surface Totale de la Région}}$

Tableau 3.5. - SURFACES TOTALES BRULEES, POURCENTAGES BRULES, SURFACES REGIONALES MOYENNES PONDEREES PAR DISTRICT PHYTOGEOGRAPHIQUE

Données	SUPERFICIE DE LA ZONE (km ²)	SUPERFICIE TOTALE BRULEE (km ²)	POURCENTAGE BRULE (%)	SURFACE REGIONALE MOYENNE PONDEREE
Zone écologique				
District de la Comoé	16966	5782	34.0	6732
District de l'Ouest Volta Noire	46510	19406	41.7	18456
TOTAUX	63476	25188.58	39.7	25168

II.1- Les cartes synthétiques des surfaces brûlées totales :
cf. Planches 3.3 et 3.4.

Les données ayant permis l'établissement de ces 2 types de cartes sont celles des tableaux 3.4 et 3.5

Ces 2 cartes permettent à première vue à tout observateur d'avoir une idée de l'importance de la surface brûlée totale de chaque unité (province ou district): la valeur réelle des surfaces brûlées est matérialisée par l'importance de la dimension des carrés en trait plein.

La surface régionale moyenne pondérée qui est matérialisée par les carrés de dimensions variables en tiretés, permet d'établir une comparaison avec les surfaces réellement brûlées.

En observant la planche 3.3; nous pouvons remarquer que plus on va vers le Sud-Ouest, plus les surfaces réelles brûlées provinciales augmentent : ceci pourrait s'expliquer par le fait que le faible taux d'occupation que connaissent ces provinces Sud-Ouest (KénéDougou, Houet, Comoé) favorise l'expansion de la savane propice aux feux.

Un regard plus approfondi sur les fiches récapitulatives peut donner d'autres indices d'interprétation de ces 2 cartes synthétiques.

II.2 - Les cartes synthétiques des pourcentages de surfaces brûlées : Planches 3.5 et 3.6

Le choix adéquat de la maille des trames permet à l'observateur de détecter tout de suite les unités (provinces, districts) où la brousse a le plus brûlé : plus la maille est serrée, plus le pourcentage brûlé est important.

L'inscription des différents pourcentages unitaires permet d'avoir une idée plus précise de la valeur du pourcentage brûlé.

De telles cartes établies sur plusieurs périodes (trimestres, années ...) permettent de mieux suivre l'évolution générale du phénomène des feux de brousse.

L'examen des 2 cartes synthétiques des districts semble "démontrer" le contraire de la variation notable du phénomène des feux de brousse suivant les paramètres géographiques.

En effet sur les 2 cartes synthétiques des districts phytogéographiques, on constate que l'importance du phénomène diminue quand on part du nord au Sud de cette Zone-test ; ceci s'explique par le fait que le couvert dense du district de la Comoé (région la plus boisée du Burkina) ne permet pas l'expansion des espèces herbacées qui constituent le principal combustible du feu.

De telles cartes synthétiques peuvent avoir des applications différentes selon leur domaine d'utilisation.

L'Agropastoraliste et l'Aménagiste de la faune y cherchent des données leur permettant de quantifier et/ou de planifier dans le temps et l'espace la pâture et le parcours du bétail, l'emplacement des nouveaux enclos,...

L'Agronome, quant à lui, pourra y relever des indices lui permettant d'estimer le taux d'occupation et d'avoir une idée plus ou moins précise sur la mise en valeur des terres ;

Le Forestier pourra en observant de telles cartes savoir si ses campagnes de sensibilisation ont porté fruit. Il pourra à partir de telles cartes planifier son action future en fonction de certaines réalités socio-économiques.

CHAPITRE 3 : INSUFFISANCE DE LA METHODE ET PROPOSITION DE PERFECTIONNEMENT

Ce Chapitre comme son intitulé l'indique, a pour but de relever les problèmes rencontrés dans l'application de la méthode retenue et les insuffisances, d'en trouver dans la mesure du possible des solutions réalistes puisque nous devons toujours avoir à vue les facteurs "coût et opérationnalité", qui devront quelle que soit la perfection apportée, caractériser la méthodologie du suivi diachronique des feux de brousse au niveau national et à ce stade de la recherche.

I - L'interprétation des feux

Nous avons déjà dit que l'interprétation des feux consiste en leur identification, la délimitation de leurs contours et la détermination de leur période d'apparition. La plupart des imperfections est liée à ces différentes étapes de l'interprétation des feux.

L'analyse monospectrale des documents noir et blanc (tirages-papiers ; épreuves-minutes) ne permet à l'interprète d'utiliser que le minimum d'information disponible et de ce fait augmente les risques d'erreurs d'interprétation. Ceci est dû au fait que la nature noir et blanc des documents entraîne un regroupement des niveaux de gris qui passent de 64 à 16 que l'œil humain ne peut d'ailleurs pas tout distinguer.

la solution idéale pour résoudre ce problème serait de rentrer en possession de tirages-papiers à des intervalles de temps plus petits que ceux des trois mois, ce qui permettrait d'ailleurs de résoudre le problème de précision de la datation des feux. L'inconvénient majeur qui ne nous fait pas recommander cette solution est l'augmentation non négligeable des frais inhérents à l'acquisition et l'exploitation des documents supplémentaires.

La solution intermédiaire qui se prêterait au mieux à ce problème de faible quantité d'information disponible pour l'interprétation des feux sur les documents noir et blanc serait l'utilisation des tirages-papiers en compositions colorées en lieu et place des tirages-papiers noir et blanc. Sur ces compositions colorées la quantité d'information disponible pour l'interprétation des feux augmente considérablement puisque chaque couleur primaire (bleu, vert et rouge) apporte désormais sa contribution (faible ou forte) dans l'édification des différentes

couleurs que nous pouvons distinguer et qui ne sont en réalité qu'une combinaison de toutes les couleurs primaires.

Aussi, les différentes périodes d'apparition des feux pourront être plus ou moins précisément déterminées grâce à l'existence de teintes colorées allant de la noire (feux très récents) la rose tacheté de vert (feux d'environ trois (3) mois) en passant par différentes densités de vert (feux d'une semaine à deux mois et demi).

Cette solution de rechange bien qu'engendrant des frais supplémentaires (par rapport au coût de la méthode tirages-papiers, épreuves-minutes) a l'avantage d'être moins onéreuse que celle précédemment préconisée et d'être plus souple car au laboratoire du CRTO on pourra en jouant sur certains paramètres du traitement photographique, fournir à l'interprète les documents répondant au mieux à ses attentes (bon contraste, ...).

II - La cartographie des feux de brousse

Le principal problème rencontré dans cette cartographie des feux de brousse est celui de la quasi impossibilité de l'utilisation des épreuves-minutes pour ces fins compte tenu de la précision voulue dans la localisation des différents feux ceci est d'autant plus dommage que les épreuves-minutes sont bon marché et fournissent à l'interprète des renseignements très précieux sur la "diachronie" du phénomène des feux à des intervalles de temps assez réduits (8 jours).

Il serait peut être envisageable de valoriser ces épreuves-minutes à l'aide d'un appareil de traçage automatique appelé "Zoom Transfer Scope" qui a l'avantage :

- de permettre à l'opérateur de voir simultanément son (ses) document(s) de base (épreuves-minutes) et le fond de carte et donc de dessiner directement,

- de permettre d'accomoder la disparité d'échelle entre les épreuves-minutes et le fond de carte,

- de permettre l'étirement ou le rétrécissement de l'image dans une direction, d'où la correction des distorsions géométriques.

En résumé, toutes ces propriétés du "Zoom Transfer Scope" peuvent être exploitées pour la cartographie directe des feux de brousse (propriété 1) à partir des épreuves-minutes dont l'échelle (propriété 2) et dont les distorsions géométriques qui constituent les principales limitations de leur utilisation efficiente pourront être quelque peu corrigées (propriété 3) en prenant en compte certains paramètres de positionnement du satellite et la distorsion appliquée à certains objets du sol dont les coordonnées sont bien connues. Nous relayons cette solution au second plan car pour être réalisée, elle devra à notre avis faire l'objet d'une étude approfondie.

Un autre problème à résoudre en vue d'augmenter la fiabilité de la carte des feux est celui inhérent à la superposition (calage) du fond de carte en projection conique conique Lambert et des images LANDSAT en "projection MTU".

1/1.800.000
pourra être aug-
mentée jusqu'à
500.000

De notre avis la solution la plus simple et la moins chère possible est la réalisation de tous les fonds de carte dans le même système de projection que les images LANDSAT.

Il suffirait alors que le dessinateur refasse les fonds de carte à partir des images LANDSAT du canal 4 et 2 où presque tous les éléments planimétriques (réseau hydrographique et routier, plan d'eau, emplacement des grandes localités) sont visibles.

Existe aussi le problème de raccordement des scènes adjacentes dû à l'intervalle de temps important entre les prises de vue des scènes adjacentes : on veillera donc à commander des scènes adjacentes enregistrées à 1 à 2 jours ou à 2 à 3.

Il serait préférable pour les prochaines années d'effectuer des études complémentaires (consultation de cartes thématiques pédologiques, hydrologiques, sorties de terrain, ...) en vue de confirmer les résultats de l'interprétation.

QUATRIEME PARTIE - ASPECTS FINANCIERS

Cette partie vise d'une part à montrer les avantages et les incidences financières des méthodes testées et d'autre part à comparer financièrement et techniquement les méthodes testées avec d'autres méthodes que nous n'avons pas pu tester faute de temps.

I - Coût d'acquisition des documents satellitaires

Le Tableau 4.1 récapitule en fonction de la nature des documents les différents prix pour une scène ("prix unitaire") et ceux pour les scènes couvrant l'ensemble du pays (18 scènes pour LANDSAT, 115 scènes pour SPOT).

Certains documents comme les images SPOT et LANDSAT TM (Thematic Mapper) ne sont pas toujours disponibles parce que toutes les images ne sont pas systématiquement traitées après leur enregistrement; la commande de fourniture de telles images entraîne des frais supplémentaires inhérents à leur "traitement hors série" : c'est le cas des images LANDSAT TM en film couleur.

Il est à remarquer d'une manière générale que plus l'image contient des informations précises (corrigées radiométriquement... géométriquement, meilleure résolution, plus grande échelle, ...) plus son coût d'acquisition est élevé.

Les films commandés doivent être tirés sur émulsion photographique par contact ou par projection et agrandissement.

Le Tableau 4.2 présente les tarifs de ces différents traitements. Le tarif change avec la composition du film (monospectral ou multispectral) et avec la nature de l'opération (agrandissement ou contact).

Tableau 4.1 - RECAPITULATIF DES COÛTS D'ACQUISITION DES DOCUMENTS SATELLITAIRES

DOCUMENTS SATELLITAIRES	ECHELLE	PRIX UNITAIRE	PRIX TOTAL BURKINA
EPREUVE-MINUTE LANDSAT MSS -Abonnement aux 2 satellites	1:1.800.000	16.200	291.600
FILM N/8 IR LANDSAT			
- MSS	1:1.000.000	27.000	486.000
- TM	1:1.000.000	48.000	864.000
FILMS COULEUR			
- LANDSAT : - MSS	1:1.000.000	71.100 (1)	1.279.800
- TM	1:1.000.000	108.000 à 198.000	1.944.000 à 3.564.000
SPOT	1:400.000	262.500	30.187.500

1) Pour images en collection et livrables directement (108.000 et 1.944.000) et pour images à traiter en "hors série".

N.B. : Il faut ajouter à ces prix d'acquisition des données les frais d'expédition, et les frais financiers qui représentent environ 5 % des frais d'acquisition.

Tableau 4.2 - TARIFS DU TRAITEMENT DES FILMS AU C.R.T.O.

TYPE DU FILM ET NATURE DE L'OPERATION	TARIF UNITAIRE	TARIF POUR TOUTES LES SCENES - COUVRANT LE BURKINA
VISUALISATION SUR TIRAGE-PAPIER N/B + Agrandissement au 1/500.000 - MSS ou TM	12.500	225.000
VISUALISATION SUR TIRAGE-PAPIER COULEUR + Agrandissement au 1/500.000 - LANDSAT MSS ou TM	35.000	630.000
+ Contact (au 1:1.000.000) - SPOT	20.000	230.000

.../...

II - ESTIMATION DU TEMPS MIS POUR L'EXPLOITATION DES DIFFERENTS DOCUMENTS DANS LES METHODES "E.M." ET "E.M./T.P."

II.1 - Méthode "E.M." .

Nous estimons qu'un interprète expérimenté peut réaliser l'interprétation des 256 E.M. d'un trimestre (12 périodes X 18 scènes) en 15 jours ouvrés (Jours-Homme).

De même, il pourra réaliser la minute de travail en 10 JH, soit un total de 25 JH.

II.2 - Méthode "E.M./T.P."

Dans cette méthode, l'interprétation est faite sur les tirages-papiers après consultation des E.M. préalablement interprétées ; ceci fait que le temps mis pour l'interprétation est de 22 JH pour les 18 scènes du Burkina.

Nous estimons à 5 JH le temps mis pour la réalisation de la minute, soit un total de 27 JH.

N.B. Pour le suivi annuel en saison sèche (7 mois d'Octobre à Avril) ces chiffres doivent être sensiblement doublés.

III - COMPARAISON ET CONCLUSION

Le Tableau 4.3 présente les paramètres permettant de faire la comparaison entre les différentes méthodes.

La rubrique "coût des données" comprend les coûts d'acquisition des E.M. (pour une bonne précision dans la datation des feux) les coûts d'acquisition des films et "les coûts de visualisation" sur la rubrique "Considérations techniques" donne une idée des avantages techniques des différentes méthodes

D'une manière générale, plus la méthode est précise, plus le poste budgétaire y affairant est important ; de ce fait chaque utilisateur pourra en fonction de l'objectif de son étude et de ses moyens recommander telle ou telle méthode : ainsi pour une étude de feux de brousse sur une petite région, visant à avoir une idée de l'évolution temporelle du phénomène, on pourra bien utiliser la méthode "E.M." qui a l'avantage d'être bon marché de ne pas requérir beaucoup d'expertise et de couvrir une année entière. Par contre pour une étude visant à "connaître l'impact" des feux de brousse sur le milieu naturel, il serait préférable d'utiliser une méthode plus précise et à la taille des moyens financiers et/ou en personnel dont on dispose : pour le cas précis de l'objectif visé par notre travail, (suivi diachronique au 1/500.000e), nous proposons la méthode "Tirage-papier/Epreuve Minute" dont la relative précision et la valeur intermédiaire du coût de réalisation sont les mieux adaptés aux réalités économiques du Burkina.

Tableau 4.3 - Comparaison des coûts de la documentation
et du temps des travaux de réalisation d'une carte
au 1/500.000e

M E T H O D E S	COUT DES DONNEES (en F.CFA)	TEMPS DES TRAVAUX (JH)	PERIODE COUVERTE PAR L'ETUDE	CONSIDERATION TECHNIQUE
Méthode "E.M." LANDSAT	310.000	50	1 Année (saison sèche)	Bonne datation Mauvaise cartographie
Méthode "T.P.MSS/E.M."	1.330.000	55	1 Année	Assez bonne datation Assez bonne cartographie
Méthode "T.P.-TM/E.M."	2.120.000	55	1 Année	Bonne datation Bonne cartographie
Méthode "Composition Colorée MSS"*	3.000.000	(50)	1 Année	Bonne datation Assez bonne cartographie
Méthode "Composition Colorée TM"*	4.400.000 à 7.800.000	(60)	1 Année	Très bonne datation Bonne cartographie
Méthode "Composition Colorée SPOT"*	63.700.000	(100)	1 Année	- Excellente datation - Cartographie détaillée - Plutôt adaptée à l'étude de Zones-test.

* Méthodes non testées.

CONCLUSION

Le thème initial de notre stage était "Inventaire des feux de brousse au Burkina et réalisation d'une cartographie d'inventaire à l'échelle du 1/500.000e". Le bon encadrement technique assuré par la Direction de l'Assistance aux Utilisateurs (D.A.U.) nous a permis de tester plusieurs possibilités d'exploitation des documents satellitaires disponibles et de choisir celle qui nous semble la plus efficiente et la moins chère possible : c'est la méthode "Tirage-papier/Epreuve-Minute". Ceci nous a amené à intituler notre Mémoire "Recherche Méthodologique en vue du suivi diachronique des feux de brousse au Burkina".

Nous souhaitons vivement que cette Etude contribue par ses résultats (cartes détaillées au 1/500.000 et cartes synoptiques à plus petite échelle) à la bonne compréhension du phénomène des feux de brousse en vue de l'élaboration de plans d'action conséquents.

ANNEXE 1 : NOTIONS DE BASE SUR LA TELEDETECTION

S O M M A I R E

INTRODUCTION

I - Généralités sur la télédétection

Introduction

p. 1

A. Définition

p. 2

B. Historique

p. 3

II - Schéma général de la Télédétection

p. 6

II.1 - L'acquisition des informations

p. 6

II.1.1 - La source d'énergie ou de radiations

p. 7

II.1.2 - L'atmosphère : milieu perturbateur

p. 8

II.1.3 - Le comportement des objets à la surface de la
Terre vis-à-vis de l'énergie incidente

p. 10

II.1.4 - Les capteurs et les plate-formes (vecteurs)

p. 13

II.1.4.1 - Les capteurs

p. 13

II.1.4.2 - Les vecteurs

p. 18

II.2 - Le traitement des informations enregistrées

p. 22

II.2.1 - Le prétraitement

p. 22

II.2.1.1 - Les corrections géométriques

p. 22

II.2.2 - Le traitement proprement dit

p. 22

II.2.3 - Les différents types de visualisations des
informations enregistrées

p. 23

II.2.3.1 - Les visualisations sur papier photographique

p. 23

a. Terminologie

p. 23

b. Le "Traitement photographique" Noir et blanc
des images satellite

p. 24

II.2.3.2 - Le traitement numérique des images
satellite sur écran d'ordinateur

p. 26

II.3 - Notions de photogrammétrie et de cartographie	p.2
II.3.1 - La photogrammétrie	p.2
II.3.1.1 - Définition	p.2
II.3.1.2 - L'interprétation des images MSS	p.2
II.3.2 - La cartographie	p.30
II.3.2.1 - Définition	p.30
II.3.2.1 - La réalisation d'une carte.	p.31

I - GENERALITES SUR LA TELEDETECTION

Introduction

A. Définition

La Télédétection peut se définir comme "la Science et l'Art permettant d'avoir des informations concernant un objet, une région ou un phénomène (généralement à la surface du globe terrestre) à travers l'analyse de données acquises par un système (vecteur et capteur) distant de l'objet, de la région ou du phénomène en question " Lillesand and Kiefer).

La nature, la précision, la quantité et la portée des informations recherchées varient non seulement selon les disciplines (Géologie, Pédologie, Hydrologie, Cartographie, Foresterie, Agriculture ...) mais aussi selon les systèmes d'acquisition capteur - vecteur (caméras de différentes focales utilisant différents types d'émulsions; radiomètre multispectraux à balayage ... placés à bord de ballons, avions ou satellites).

Les principales caractéristiques des informations recherchées par la Télédétection comparées à celles des informations recherchées sur le terrain lors d'une sortie-terrain nous permettent de dégager les avantages suivants :

1. La Télédétection nous permet d'élargir notre champ de vision en nous offrant une vue d'oiseau ("a bird's eye view") qui montre les objets et phénomènes dans leur contexte spatial : c'est la vision synoptique de la Télédétection ;
2. Les systèmes de Télédétection ont cette possibilité de "stopper l'action" par les prises de vue, ce qui permet et facilite l'étude de phénomènes dynamiques tels que les courants d'eau, les migrations d'animaux, les feux de brousse ... quand on dispose de prises de vue à différentes dates ;

3. Les capteurs utilisés en télédétection permettent :

- d'étendre considérablement le spectre de vision du photointerprète qui, de la portion visible du spectre électromagnétique (0.4 à 0.7 μm) s'élargit aux radiations Ultra-Violettes (0.3 à 0.4 μm), Infra-rouges (0.7 à 15 μm) et aux ondes radio ou Micro-ondes (supérieure à 0.75 cm) ; cette extension de la sensibilité spectrale de l'oeil du photointerprète lui permet de déceler certains phénomènes qu'il ne peut percevoir sans l'aide préalable du "capteur" ;
- d'établir des cartes planimétriques et topographiques grâce à la possibilité de vision du relief en perspective.

B. Historique

La Télédétection spatiale (par opposition à la télédétection aérienne utilisant des avions photographes) sous sa forme actuelle devait être entrevue (envisageable) dès 1891 lorsque l'Allemagne mit au point un système constitué par une fusée ayant à bord une caméra.

La Télédétection spatiale a connu sa réelle impulsion pendant la période allant de 1946 à 1950 où plusieurs fusées furent lancées avec à bord de petites caméras.

Elle fit, dans les années 1960, un bond en avant avec la mise en orbite des satellites météorologiques Tiros dont les multiples phases de perfectionnement ont permis non seulement d'améliorer l'observation de la configuration des nuages mais aussi parfois d'avoir au niveau de la croûte terrestre quelques images indistinctes puis distinctes.

Le radieux avenir de la Télédétection spatiale devint plus apparent avec l'élaboration des programmes spatiaux Mercury, Gemini et Apollo (toujours dans les années 1960) :

- Le programme Mercury eut le mérite d'avoir pu réaliser des photos couleurs obtenues à partir de négatifs et de films inversibles ;
- Le programme Gemini, quant à lui, fit découvrir au Public Scientifique que la Télédétection spatiale était un outil précieux sinon indispensable pour les investigations en Géologie, Tectonique, Volcanologie et Géomorphologie ;
- Le programme Apollo poursuivit dans ce sens mais en utilisant un système d'enregistrement multispectral.

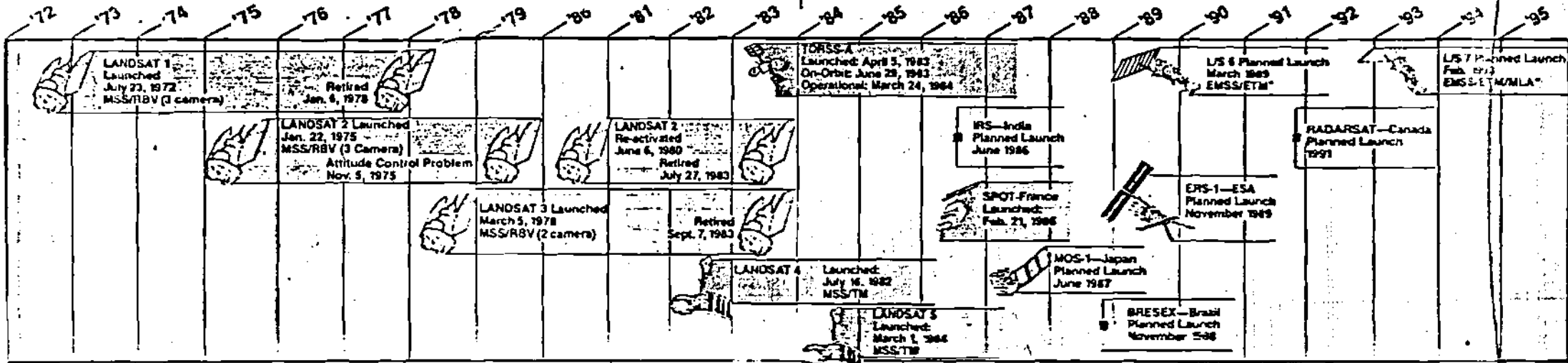
D'autres programmes Skylab, ASTP (Apollo-Soyuz Test Project) ... furent élaborés et réalisés par la suite ; celui qui retiendra plus particulièrement notre attention est le programme ERTS (Earth Resources Technology Satellites) initié en 1967 par la NASA (National Aeronautics and Space Administration) sous l'égide du "US Department of Interior". Ce programme prévoyait la construction et la mise sur orbite d'une série de six (6) satellites (ERTS A, B, C, D, E et F ou 1, 2, 3, 4, 5 et 6) d'acquisition de données sur les ressources terrestres. Cet enregistrement des informations devait s'effectuer d'une manière systématique et répétitive, avec une résolution moyenne et sur une base multispectrale.

Après le succès de ERTS 1, le programme changea de dénomination et devint LANDSAT 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

Le Tableau A.11 à la page suivante nous fait le récapitulatif des programmes de construction et de mise en orbite des satellites des ressources terrestres pour la période de 1972 à 1995.

Aujourd'hui plus que jamais, la Télédétection spatiale, de par sa vision synoptique et de par sa capacité à figer sur une image un phénomène donné à un certain moment, s'impose comme un outil efficace dans l'évaluation et le suivi des ressources naturelles en vue de leur utilisation rationnelle

LANDSAT TIMELINE



visée à travers la conception et l'exécution des projets de développement. De ce fait, la Télédétection constitue une technique que les pays en voie de développement devront à tout prix maîtriser pour pouvoir résoudre certains problèmes cruciaux (déforestation, érosion, feux de brousse

II - SCHEMA GENERAL DE LA TELEDETECTION

La Télédétection comme toute discipline qui se veut scientifiquement rigoureuse; suit une certaine démarche (méthodologie) dont le schéma général peut se résumer comme suit :

- l'acquisition des données nécessitant l'existence du système "source d'énergie-objet-capteur";
- le traitement des données enregistrées analogiquement ou numériquement,
- l'analyse des données enregistrées et traitées ou l'interprétation.

C'est ce que nous illustre la figure 1'.

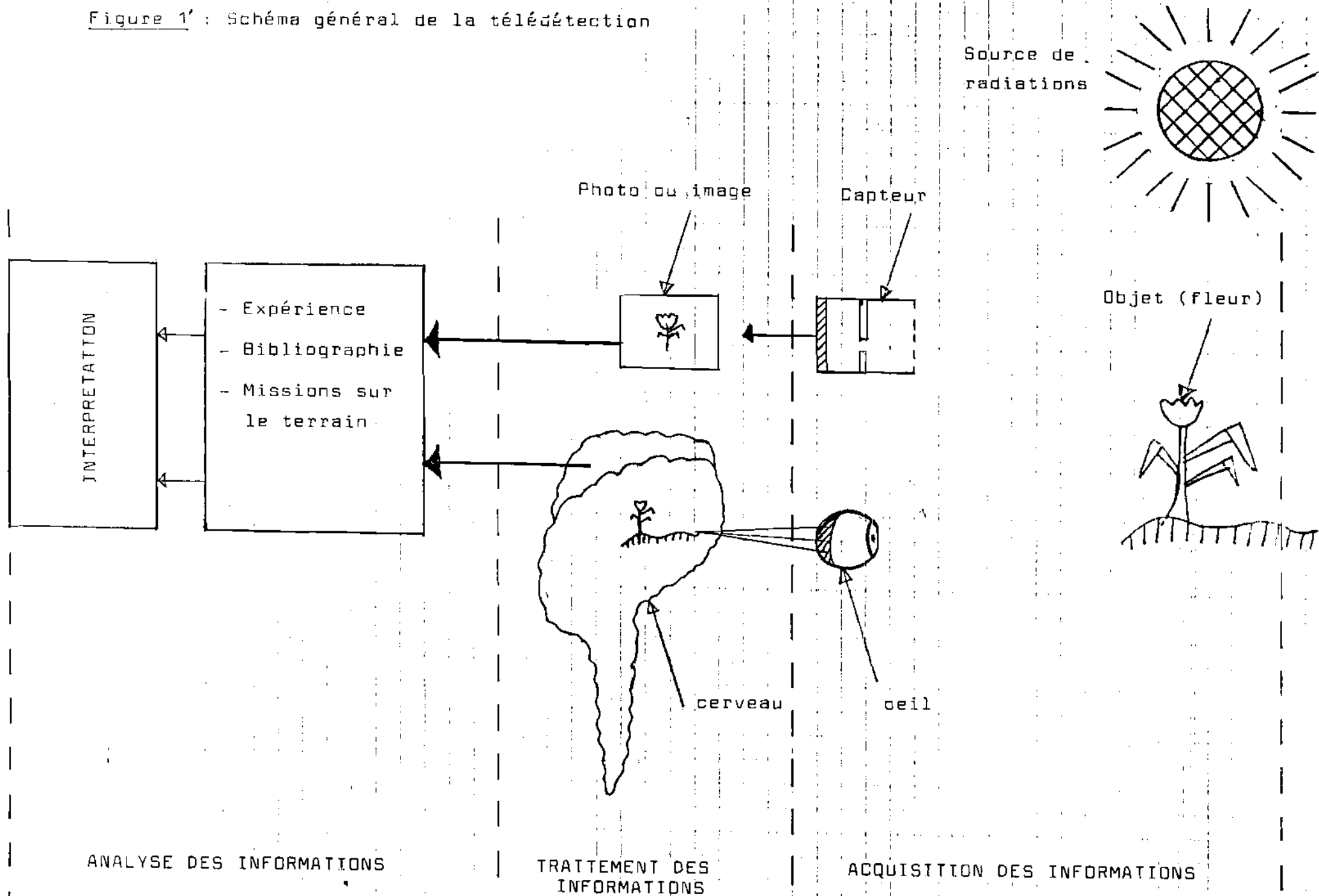
II.1 - L'acquisition des informations

Le système d'acquisition des informations (en Télédétection spatiale) concernant un objet particulier à la surface du globe terrestre peut être illustré par le schéma de la figure 2' :

- La source d'énergie (Radiation source) est la plupart du temps constitué par le soleil,
- Cette énergie est modifiée par l'atmosphère (interference with atmospheric components) qu'elle traverse grâce à des voies de transmission (Transmission path),
- L'énergie modifiée illumine une portion de la surface terrestre (Target) qui la réfléchit;
- L'énergie réfléchie est enregistrée par un capteur (sensor).

.../..

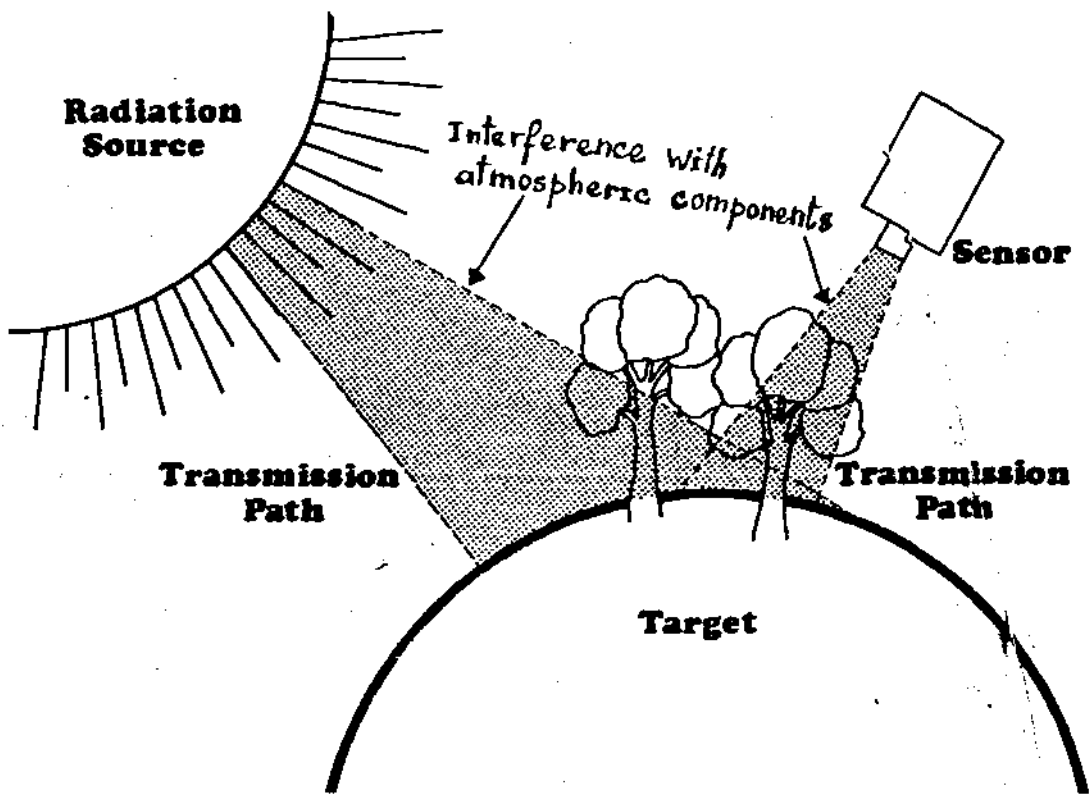
Figure 1' : Schéma général de la télédétection



LISTE RECAPITULATIVE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Tableau A ₁₁ : Récapitulatif des programmes spatiaux	p.4
Figure 1' : Schéma général de la Télédétection	p.6
Figure 2' : Schéma de l'acquisition des informations à la surface du globe terrestre	p.6
Figure 3' : a) Représentation d'une onde électro- magnétique (L/K)	
b) Représentation du spectre électro- magnétique (L/K)	p.7
Figure 4' : a) Répartition spectrale des radiations provenant de corps noirs de différentes températures	p.8
b) Comportement de l'énergie solaire incidente et de l'émission terrestre à la surface du globe terrestre.	
Figure 5' : Signatures spectrales de 4 conditions de pigmentation d'une feuille de <u>Coleus</u>	p.12
Figure 6' : Signatures spectrales des différents types d'environnements des feux de brousse	p.13
Figure 7' : Schéma théorique du radiomètre à balayage	p.16
Figure 8' : Les différents paramètres de l'orbite d'un satellite	p.20
Figure 9' : L'orbite du satellite et sa précession dans le plan de l'écliptique	p.20
Figure 10' : Configuration générale de Landsat 4 et 5.	p.21
Figure 11' : a) Représentation de la projection MTU	p. 33
b) Représentation de la projection conique.	p. 33

Figure 2' : Schéma de l'acquisition des informations à la surface du globe terrestre.



ANNEXE 1 : NOTIONS DE BASE SUR LA TELEDETECTION

INTRODUCTION

Cette annexe "Notions de base sur la Télédétection" a pour but de situer le cadre de notre étude dans le contexte général de cette nouvelle technique utilisant la "vue d'oiseau" qu'est la Télédétection d'une part et dans le contexte général de ce phénomène de dégradation à multiples facettes de notre environnement.

De ce fait, loin de nous l'idée de vouloir ressortir d'une "manière crue" nos cours de Télédétection et encore moins de vouloir faire de cette partie un cours de Télédétection mais plutôt une base théorique pour la compréhension d'une part de notre recherche méthodologique et d'autre part de la méthodologie adoptée définitivement pour le suivi diachronique des feux de brousse.

II.1.1 - La source d'énergie ou de radiations

Quand nous voulons observer un objet dans la nuit, nous utilisons une source de lumière (lampe, torche ...) qui illuminant l'objet permet à nos yeux de distinguer l'objet de son environnement. Il en est de même en télédétection. La source radiative la plus communément utilisée en Télédétection est celle du soleil.

De même, nous faisons de la Télédétection quand nous lisons les écritures figurant sur cette page : - notre objet ici est la page de ce document,

- le système d'acquisition est constitué par nos yeux et notre cerveau.

Dans la réalité, nous arrivons à lire ce qui est écrit sur cette page (c'est-à-dire à différencier les mots dont chacun a une signification particulière pour nous grâce à la somme d'expériences accumulées dans notre cerveau grâce aux variations survenant dans la répartition de l'énergie électromagnétique principalement dans sa portion "Visible" (0.4 à 0.7 μm).

La notion d'énergie électromagnétique laisse sous-entendre celle de l'existence de deux champs; électrique et magnétique se déplaçant d'une manière harmonique et sinusoïdale à la vitesse C de la lumière ($C = 300.000 \text{ km/s}$) comme nous le montre la figure 3'a.

La distance séparant deux points identiques sur l'onde sinusoïdale est alors appelée Longueur d'onde (λ)

De même, nous sentons la chaleur et nous percevons par l'ouïe les sons grâce aux variations survenant dans la répartition respectivement des radiations de l'Infra-rouge lointain, IRL (3.0 à 15 μm) et des ondes acoustiques (0.75 cm à 1.36 m) : ceci nous amène à parler du spectre électromagnétique.

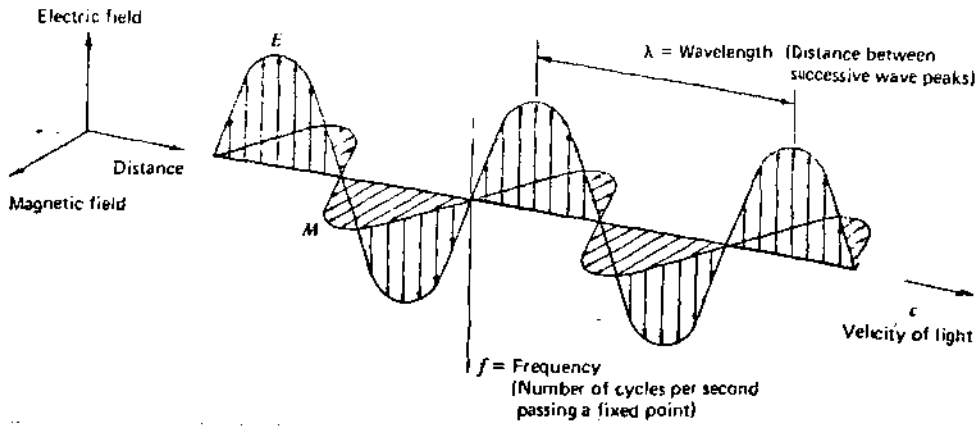


Figure 3'a : Représentation d'une onde électromagnétique.

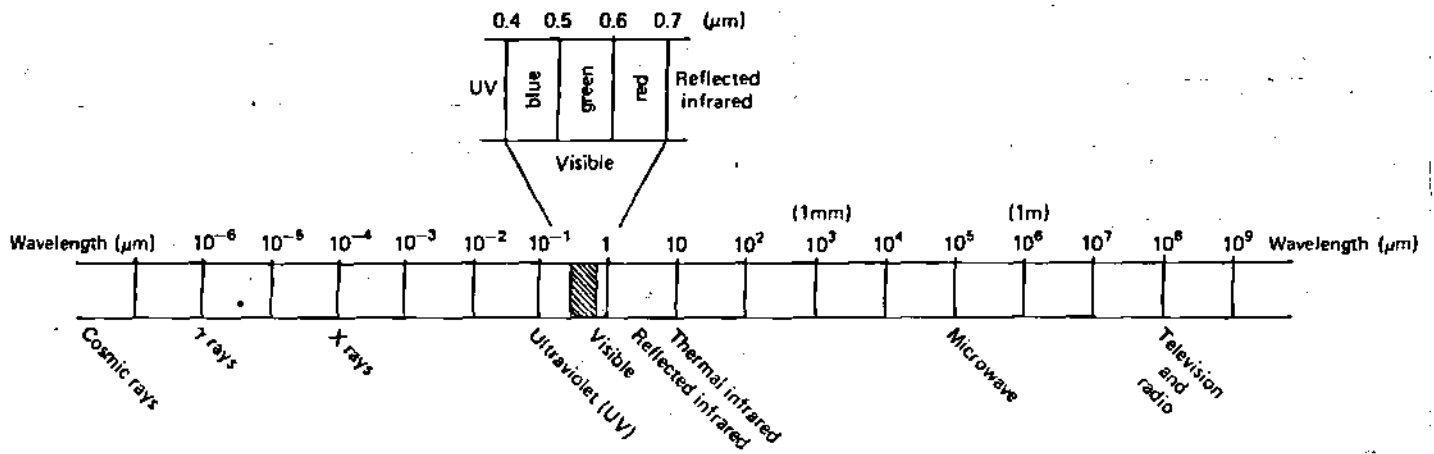


Figure 3'b : Représentation du spectre électromagnétique

Le science électromagnétique peut se définir comme étant la hiérarchisation de toutes les ondes électromagnétiques en fonction de l'importance de leur longueur d'onde. C'est ce que nous illustre la figure 3'b (p. 7')

Le rayonnement du soleil comme le montre la figure 4'a est semblable à celui d'un corps noir* à la température de 6.000°K dont le maximum d'émission* correspond aux longueurs d'onde de la portion "visible" (par l'Homme) du spectre électromagnétique.

Plus la température d'un corps noir est élevée, plus la longueur d'onde correspondant au maximum d'émission décroît et plus grande sera la portion du spectre électromagnétique couverte par la courbe de radiations du dit corps noir : c'est ce qu'illustre la figure 4'a. Il en est de même pour le soleil qui émet des radiations de longueur d'onde allant des UV (0.1 μ m) jusqu'aux ondes radio (quelques décimètres).

II.1.2 - L'atmosphère : milieu perturbateur

On définit l'atmosphère comme l'enveloppe gazeuse qui entoure la Terre. L'atmosphère est un mélange

- d'azote et d'oxygène à 99 %,
- d'anhydride carbonique, d'Argon, d'Ozone, d'Hydrogène ..
- de microparticules.

- Corps noir : "radiateur parfait qui émet toute l'énergie absorbée".
- Emission : puissance totale émise par unité de surface pour une hémisphère.

Figure 4'a : Répartition spectrale des radiations provenant des corps noirs de différentes températures.

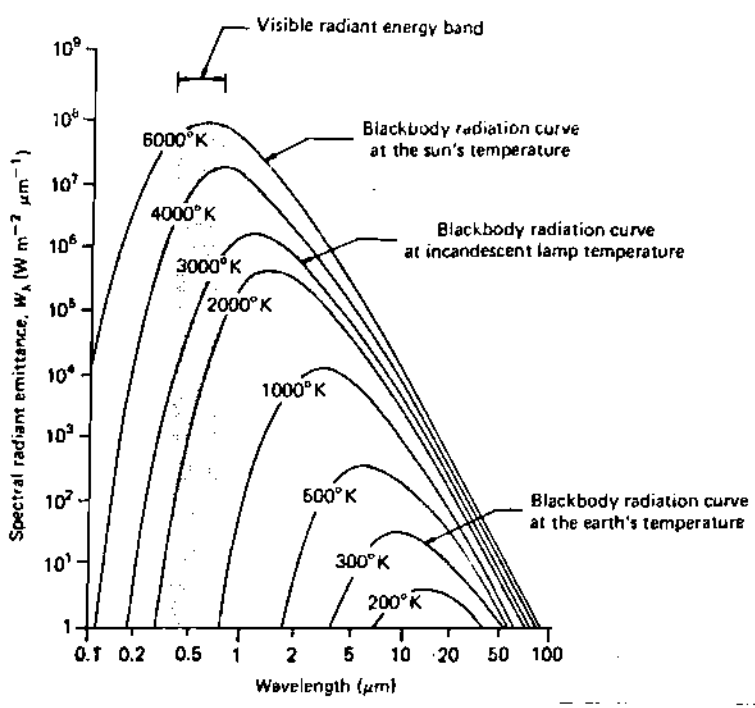
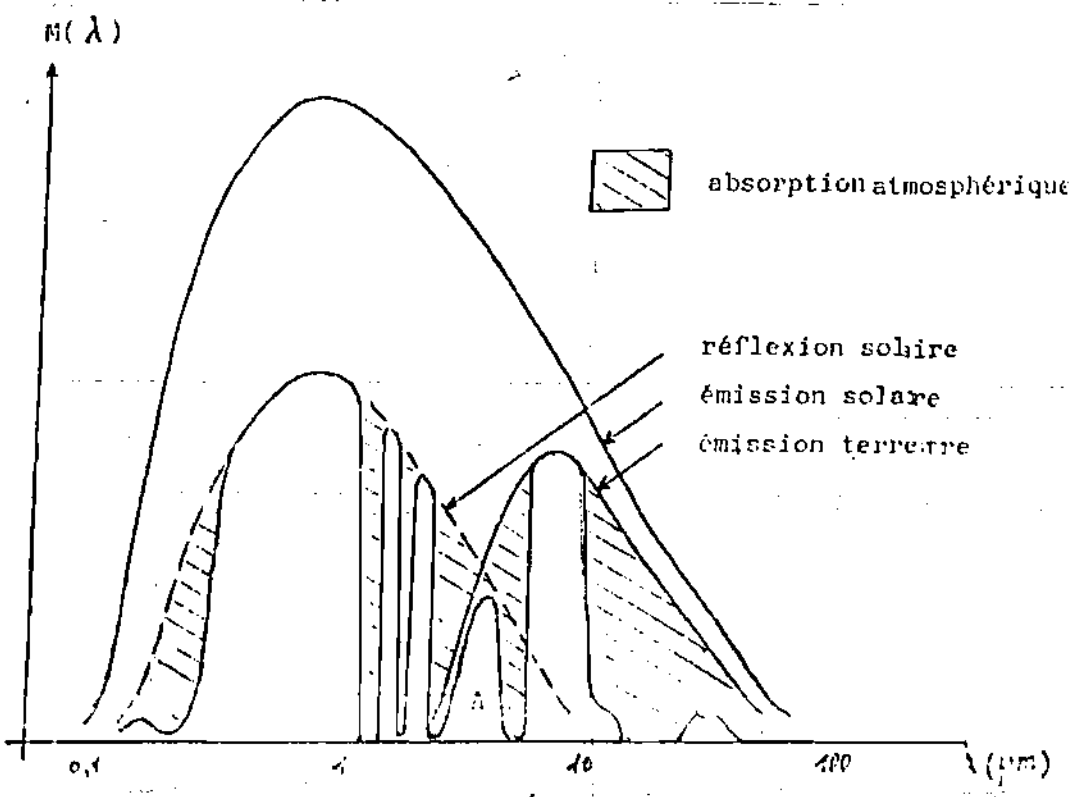


Figure 4'b : Comportement de l'énergie solaire incidente et de l'émission terrestre à la surface du globe terrestre (d'après Wereme H.).



Ce milieu composite a un impact sur les radiations qui la traversent.

Ainsi, les radiations traversant l'atmosphère connaissent plusieurs types de perturbations sélectives au niveau qualitatif (longueur d'onde) et quantitatif (intensité) :

- L'absorption : c'est la dissipation totale de l'énergie par les éléments atmosphériques et sa transformation sous forme de chaleur. L'absorption est due aux gaz atmosphériques (Oxygène; Ozone, vapeur d'eau; gaz carbonique ...) qui absorbent les radiations de longueurs d'onde inférieures à $0.4 \mu\text{m}$ (Ozone et poussières), celles de 1 à $1.5 \mu\text{m}$ (eau et gaz carbonique) et celles d'environ $15 \mu\text{m}$ à environ 0.75

Dans ces régions du spectre électromagnétique, toute radiation est stoppée et par conséquent il n'y a pas de transmission ; tandis que dans les autres régions où il n'y a pas d'absorption (0.4 à $14 \mu\text{m}$ et supérieur à 0.75 cm) le pourcentage de transmission est élevé : on appelle ces régions fenêtres de transmission de l'atmosphère : figure 4'b.(p.8').

- La diffusion ou diffraction : elle entraîne une modification de l'intensité et des longueurs d'onde d'une radiation donnée ; que ce soit dans les régions d'absorption ou celles de transmission, il y a diffraction des radiations par les particules et les gaz, de sorte que l'énergie incidente (exposition) sur le film E est atténuée d'un coefficient α ($\alpha < 1$).

Un autre facteur intervenant dans la modification de l'exposition pendant la prise de vue est l'émission propre de l'atmosphère : l'atmosphère réémet les radiations qu'elle a absorbée (Loi de Kirchoff). Ceci fait qu'à l'exposition atténuée αE s'ajoute un coefficient β correspondant à

la portion de lumière émise par l'atmosphère et non réfléchié par notre objet d'intérêt.

Dans la pratique, on essaie de rémédier à tous les facteurs perturbateurs soit en utilisant des filtres soit la plupart du temps en faisant de la calibration.

II.1.3 - Le comportement des objets à la surface de la Terre vis-à-vis de l'énergie incidente.

Selon la Loi de conservation de l'énergie, nous pouvons écrire :

$$I_{\lambda} = R_{\lambda} + T_{\lambda} + A_{\lambda} = 1$$

où I_{λ} est l'incidence totale pour une longueur d'onde donnée,

R_{λ} la réflexion totale pour une longueur d'onde donnée,

T_{λ} la transmission totale pour une longueur d'onde donnée,

A_{λ} l'absorption totale pour une longueur d'onde donnée.

Ainsi l'énergie incidente sur un objet donné et à une longueur d'onde donnée peut être réfléchié et/ou absorbée et/ou transmise.

Dans le cadre de notre étude, nous ne retiendrons dans nos analyses que la partie "Réflexion" de cette Loi de conservation de l'énergie.

Dans cette Loi de balance, deux faits méritent d'être soulignés :

1. L'énergie réfléchié, comme d'ailleurs les deux autres composantes de cette Loi, dépend des conditions d'observation et du type d'objet observé :

- les conditions d'observation : environnement, position de l'objet par rapport au soleil et à la plate-forme, l'humidité.
- le type d'objet observé : nature de la surface (lisse ou rugueuse), couleur, taille par rapport à la résolution* spatiale du système de détection, forme.

Ces différents caractères "permettent de distinguer" plusieurs objets sur une image.

2. L'énergie réfléchie dépend aussi de la longueur d'onde de telle sorte que pour un même type d'objet, la réflectance** varie selon les longueurs d'onde : le résultat est qu'à chaque longueur d'onde correspond une réflectance spectrale donnée. C'est ainsi que dans la portion visible du spectre, nous arrivons par ces variations de réflectance spectrale ou "couleurs" à distinguer les différents objets.

Certaines réflectances spectrales sont influencées par l'importance relative de la taille des éléments de texture des objets irradiés par rapport à la valeur de la longueur d'onde.

Certains objets ou phénomènes ne sont perceptibles que dans des bandes de longueurs d'onde précise : c'est le cas de la végétation active dans la bande du Proche Infra-rouge (0.7 à 1.5 μm) ou PIR.

Cette bande utilisée en photographie Infra-rouge noir et blanc (comme couleur) permet de mettre en évidence les différentes espèces, types de végétation et cultures en foresterie et en Agronomie : cette possibilité de discrimination de la végétation ^{est} réalisable grâce à l'analyse de l'allure particulière de sa signature spectrale (courbe caractéristique de la réflectance d'un objet ou d'un phénomène en fonction de la longueur d'onde) dans le PIR (0.7 à 1.5 μm),

- * Résolution : le plus petit élément au sol détectable par un capteur donné
- ** Réflectance : rapport entre l'énergie réfléchie d'un objet et celle incidente sur le même objet.

le rouge (0.6 à 0.7 μm) et le vert (0.5 à 0.6 μm).

La figure 5' nous montre les signatures spectrales de quatre (4) conditions de pigmentation d'une feuille de Coleus :

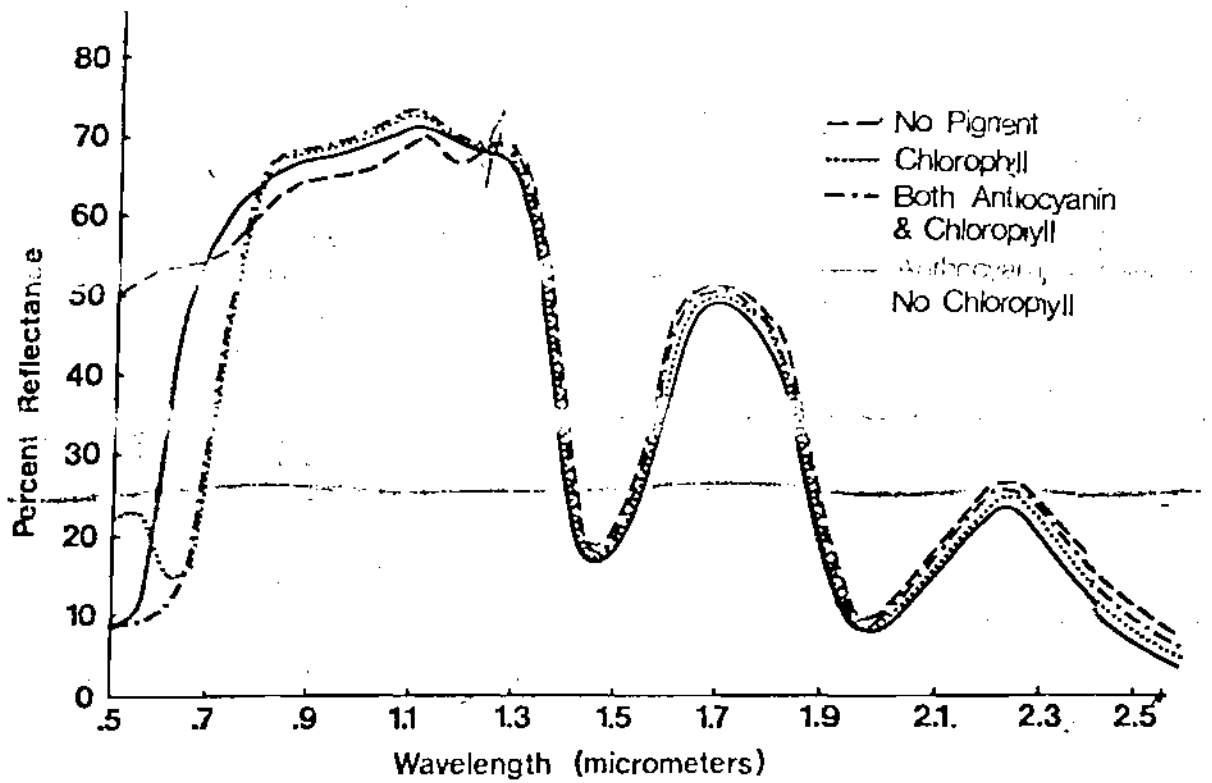
- Dans les longueurs d'onde du vert (0.5 à 0.6 μm) il n'y a que la feuille contenant la chlorophylle qui réfléchit les radiations reçues : il y a réflexion du vert et absorption des autres longueurs d'onde : on dit que les végétaux réfléchissent dans le vert et c'est pourquoi d'ailleurs nous voyons les feuilles saines nous paraître toujours vertes. Cette réflexion des végétaux sains dans le vert est due non pas à la couleur des pigments (chlorophylle; carotène; xanthophylle) mais plutôt à la quasi-similarité en taille des grana (0.5 μm de long et 0.05 μm de diamètre) contenant la chlorophylle et de la valeur de la longueur d'onde du vert (0.5 μm) : nous assistons alors à une forte dispersion des radiations vertes ;

- Dans les longueurs d'onde du rouge (0.6 à 0.7 μm), on constate, toujours au niveau de la signature spectrale de la "feuille chlorophyllienne", qu'il y a absorption (par la chlorophylle) des radiations reçues : on dit que les végétaux absorbent dans le rouge ;

- Enfin dans le PIR (0.7 à 1.5 μm); on constate que ce soit au niveau de la feuille à pigment chlorophyllien ou celles des autres pigments, une forte réflectance due, cette fois-ci, à l'hétérogénéité de la structure du parenchyme lacuneux des feuilles entraînant de ce fait; des indices de réfraction différents : on dit que les végétaux sains réfléchissent fortement dans le PIR puisque cette configuration anatomique du mésophyle est commune à tous les végétaux.

C'est pourquoi on utilise en Foresterie comme en Agronomie ce comportement spectral des végétaux sains dans le PIR pour non seulement détecter les maladies de plantes mais aussi identifier les espèces.

Figure 5' : Signatures spectrales de 4 conditions de pigmentation d'une feuille de Coleus (D'après R.M. Hoffer).



En Pédologie, il y a des caractères qui sont directement décelables par la Télédétection et d'autres qui ne le sont pas directement.

Parmi ceux directement décelables figurent la morphologie du sol, et la tonalité (clarté) des sols qui nous intéressent plus particulièrement dans cette étude des feux de brousse.

Ainsi, la tonalité d'un sol sec sur une image noir et blanc sera d'autant plus clair donc plus réfléchissant qu'il aura une plus ou moins forte clarté (calcaire; sol argileux ...) ou qu'il supportera une végétation à l'état actif c'est-à-dire à l'état vert.

De même l'eau dont la signature spectrale (Figure 6'-E2) a tendance à s'annuler au fur et à mesure que la longueur d'onde augmente, absorbe plus qu'elle ne réfléchit (sauf dans le cas de la réflexion spéculaire) et donc tendra à être plus foncée que tout autre élément de terrain sur une image. Mais une eau turbide et/ou eutrophe tendra plutôt dans le canal IR à être claire parce que plus réfléchissante que précédemment :

Figure 6'-E1 : le couvert végétal rehausse donc les réflectances Figure 6' A1, B1, C1 et D1. Les éléments de terrain A2, B2, C2, D2 (qui constituent une cuirasse latéritique nue) ont des signatures spectrales de même allure générale : augmentation rapide de la réflectance en passant du vert au rouge et faible regression du rouge vers le PIR.

Les courbes Ga, Gb et Fa, Fb qui sont les mêmes parcelles avant et après le feu, nous montrent bien l'impact de la couleur du sol sur la réflectance.

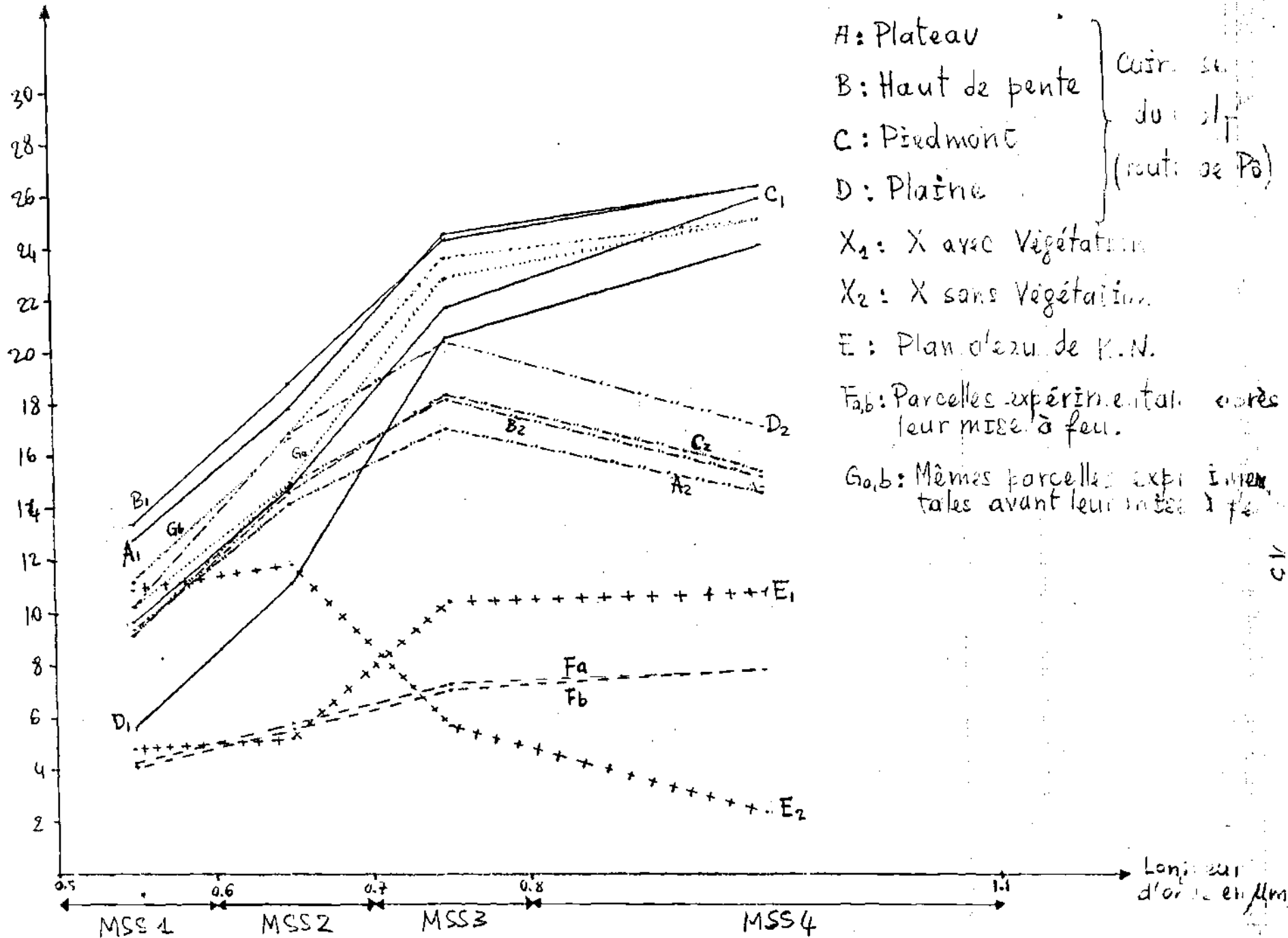
II.1.4 - Les capteurs et les vecteurs

I.1.4.1 - Les capteurs

a. Définition et différents types de capteurs.

Les capteurs sont des appareils enregistrant les radiations électromagnétiques émises et réfléchies par les objets.

Figure 6'



Différents types de capteurs sont définis selon la source d'énergie utilisée et selon le système optique utilisé pour l'enregistrement des radiations venant de l'objet :

+ Au niveau de la source d'énergie : on distingue les capteurs passifs qui sont les plus communément utilisés de ceux actifs.

Les capteurs passifs comme leur nom l'indique, sont de simples récepteurs des radiations solaires réfléchies par l'objet ou des radiations émises par l'objet lui-même.

Les capteurs actifs sont à la fois émetteurs et récepteurs de leur propre énergie réfléchi par l'objet. Ils envoient des radiations d'une longueur d'onde donnée sur l'objet qui, après avoir absorbé et transmis une partie, réfléchira l'autre partie qui sera enregistrée au niveau du capteur.

+ Au niveau du système optique : on distingue les capteurs photographiques de ceux non photographiques.

- Les capteurs photographiques enregistrent sous forme d'énergie lumineuse les radiations solaires réfléchies et focalisées par une (ou des) lentille(s). Cette capacité d'enregistrement des radiations sous forme d'énergie lumineuse est possible grâce à l'utilisation d'émulsions* de plusieurs types (Panchromatique, vraie couleur, IR Noir et Blanc, IR Couleur). Leur domaine d'action va de l'UV ($0.3 \mu\text{m}$) au PIR ($0.9 \mu\text{m}$).

- Les capteurs électromagnétiques ou radiomètres multispectraux : ce sont des capteurs munis de plusieurs détecteurs sensibles à une bande précise du spectre électromagnétique et transformant les radiations spectrales qui leur parviennent en un signal électrique.

Généralement les radiomètres multispectraux fonctionnent avec un système à balayage mécanique : d'où le nom de Scanner multispectral ou MSS (Multispectral Scanner System) des satellites Landsat.

Il y a aussi des radiomètres multispectraux munis de détecteurs (barettes) en quantité suffisante pour couvrir tout le champ de visée et fonctionnant avec un système à balayage

* Emulsion : "Suspension de cristaux photosensibles d'halogénure d'Argent dans de la gélatine qui constitue la couche où se forme l'image"

électronique : c'est le cas des radiomètres montés à bord du satellite SPOT.

Nous vous proposons de décrire le type MSS dont les produits nous ont servi pour notre recherche méthodologique.

b. Les radiomètres multispectraux à balayage mécanique ou MSS.

b1. Définition

Ce sont des capteurs qui peuvent enregistrer dans une longueur d'onde donnée les radiations électromagnétiques provenant du soleil et réfléchies par le sol,

du sol

- l'auto -émission

L'énergie enregistrée est directement transmise aux stations de réception au sol par le biais d'un autre satellite (satellite de relai TDRS).

Il est à rappeler que les longueurs d'onde d'enregistrement de ces radiomètres multispectraux se situent toujours dans les fenêtres de transmission de l'atmosphère.

b2. Constitution et mécanisme du système

b2.1 - Constitution

Un radiomètre multispectral à balayage comprend deux systèmes :

- + un système de balayage composé d'un miroir rotatif et d'un objectif servant à focaliser les radiations incidentes sur le miroir,
- + un système d'enregistrement multispectral composé de :
 - un système dichroïque de scission des radiations émises de celles réfléchies et un système de filtrage (prisme) des radiations réfléchies,
 - un assemblage de multiples détecteurs,
 - un système de calibration,
 - une amplification électronique,
 - un système de mémorisation et de transmission,
 - un système de traitement et de codification du signal reçu

C'est ce que nous montre la figure 10' (p. 21')

b2.2 - Mécanisme

Les radiations émises et/ou réfléchies arrivent sur le miroir de balayage qui effectue un balayage toutes les 33 milli-secondes dans un champ total de 11.56° enregistrant ainsi simultanément six (6) lignes contiguës. Le balayage mécanique se fait dans le plan orthogonal à la direction de déplacement du vecteur et l'enregistrement se produit seulement quand le miroir balaie de l'Ouest vers l'Est. Ainsi, au bout d'environ 390 balayages (va-et-vient) du miroir, le radiomètre enregistre une scène* de 185.2 km X 185.2 km qui est de forme losangique : Figure 7'.

Le miroir rotatif, par le biais du système optique de focalisation, envoie un faisceau lumineux sur le système dichroïque de scission qui est, en réalité, un réseau de spectromètres et de prismes. Le faisceau est alors scindé en deux (2) faisceaux, l'un correspondant aux radiations réfléchies et l'autre à celles émises.

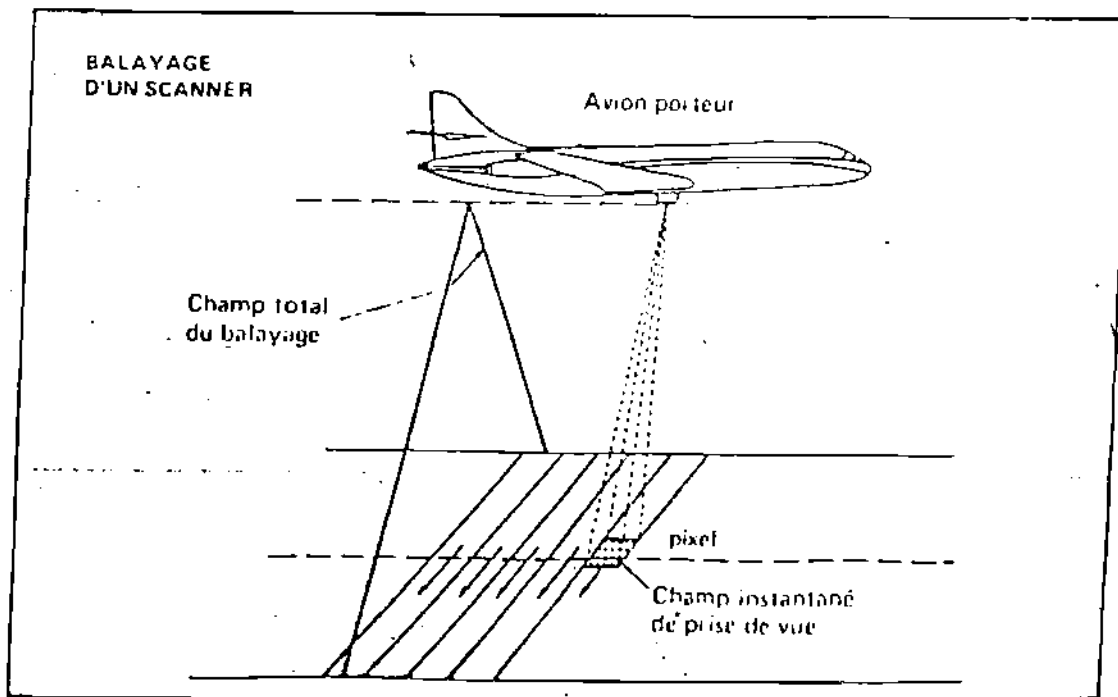
Le faisceau de radiations réfléchies est ensuite envoyé vers un prisme qui morcelle (filtre) les radiations réfléchies en petites bandes (canaux) de longueurs d'onde et les dirige vers des détecteurs de sensibilité correspondante : détecteurs quantiques.

Les radiations lumineuses sont transformées en signaux électriques qui sont calibrés puis amplifiés électroniquement en vue d'éliminer les parasites et d'avoir des grandeurs plus facilement manipulables.

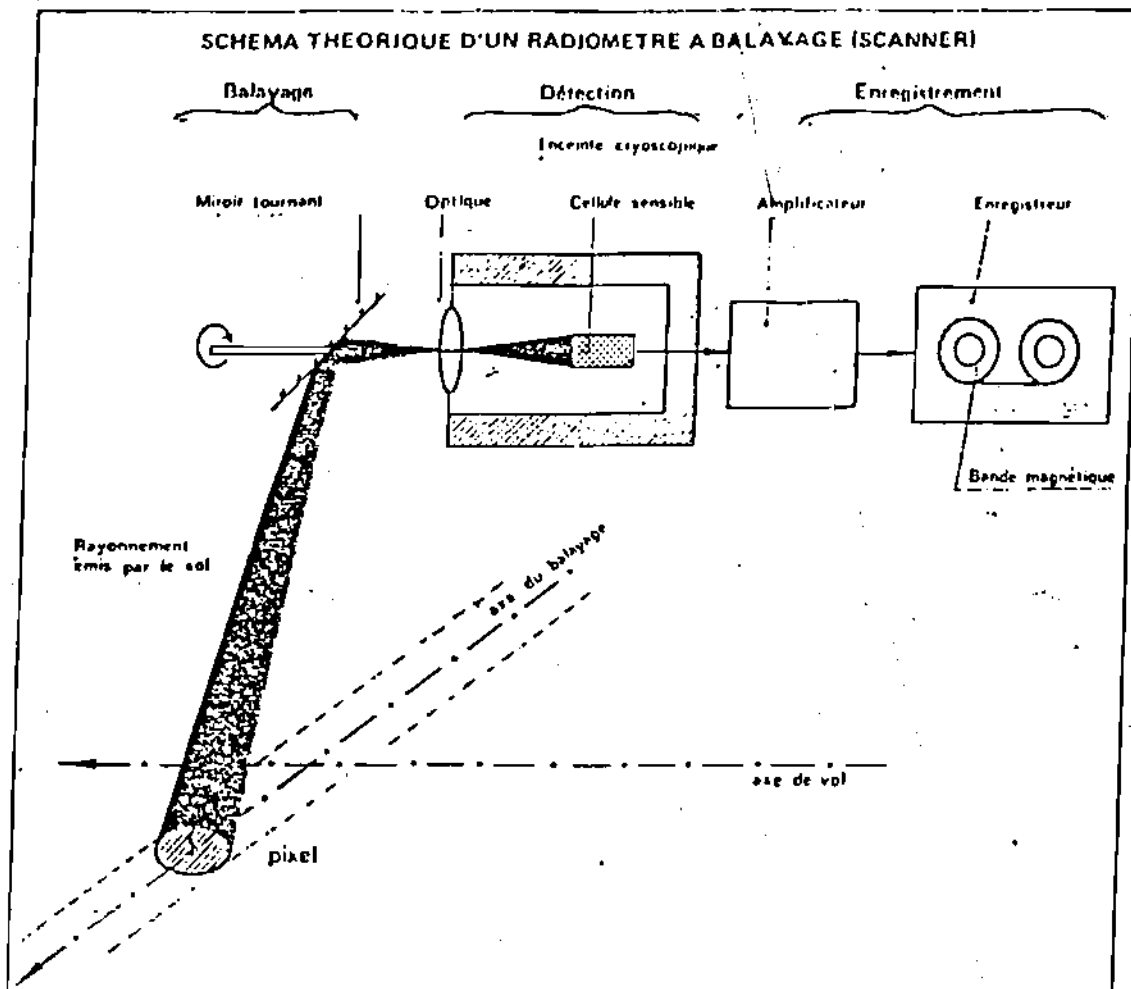
Les données enregistrées et numérisées sont transmises par le canal du satellite de relai TDRSS (Tracking Data Relay Satellite System) aux stations de réception au sol. Les données sont alors prétraitées puis traitées en vue de "se prêter" à différents usages sous forme de bandes numériques compatibles

Scène: "Surface du sol couverte par une image".

Figure 7' : Schéma théorique du radiomètre à balayage.



ACQUISITION DES DONNÉES



à l'ordinateur processeur d'images ou sous forme de films photographiques utilisés pour les visualisations sur émulsion photographique.

Les radiomètres MSS montés à bord des LANDSAT comportent quatre (4) groupes de six (6) détecteurs quantiques disposés en lignes et sensibles à quatre (4) bandes (canaux) dont les dénominations dans la seconde génération des LANDSAT (LANDSAT 4 et 5) sont :

MSS 1 : 0.5 - 0.6 μm : Vert
MSS 2 : 0.6 - 0.7 μm : Jaune; Orange; Rouge
MSS 3 : 0.7 - 0.8 μm : Rouge; PIR
MSS 4 : 0.8 - 1.1 μm : PIR

Sur LANDSAT 1, 2 et 3; les canaux sont respectivement MSS 4, 5, 6 et 7.

Chaque détecteur "couvre au sol" une surface de 79 m X 79 m soit 0.62 ha. Cette valeur nous donne une idée de la capacité de détection du radiomètre MSS.

On appelle résolution au sol ou résolution spatiale ou pixel (picture element) le plus petit élément du terrain discernable sur un document donné (photo; image) ou détectable par un radiomètre donné. La taille du pixel détermine la précision de l'information enregistrée puisqu'il constitue l'unité élémentaire sur laquelle les mesures radiométriques sont réalisées : ainsi, plus le pixel est petit, plus les chances d'avoir des pixels purs (homogènes) augmentent; plus l'information est précise et plus facilement on peut réaliser des études poussées (détaillées).

Les systèmes de balayage et de transmission engendrent des erreurs, des parasites et des distorsions géométriques qui doivent être identifiées et corrigées.

II.1.4.2 - Les plate-formes ou vecteurs

Le capteur précédemment décrit (MSS) et bien d'autres encore (Thematic Mapper ou TM, différents types de caméras pour les photographies et de radars pour les images radar) sont montés à bord d'engins ou supports ou plate-formes dont les caractéristiques (altitude de vol; vitesse; cadence des enregistrements ...) varient en fonction de la nature de l'enregistrement des informations (photo ou image) et de la précision voulue dans cet enregistrement (notion d'échelle et de résolution). On distingue généralement trois (3) grands types de vecteurs : les avions, les ballons, les satellites et les engins spatiaux récupérables (navettes, fusées ...).

a. Les satellites

On distingue deux types de satellites :

- Les satellites géostationnaires à orbite* équatoriale de haute altitude (de l'ordre de 36.000 km). Ils sont utilisés en Océanologie et en Météorologie et font des prises de vue sur des scènes* de 12.500 km X 12.500 km à la verticale d'un même point toutes les trente (30) minutes avec une résolution variant entre 2.5 et 5 km et avec une vitesse et une direction identiques à celles de la rotation de la Terre.

- Les satellites à défilement ou héliosynchrones qui nous intéressent plus particulièrement.

Ce type de satellite a "un orbite" sub-polaire de basse altitude (600 à 1.200 km) dont chaque projection au sol (trace) se trouve toujours décalées vers l'Ouest par rapport à la précédente en raison de la rotation de la Terre.

Ces satellites passent toujours à la même heure à la verticale d'un point donné et selon leur vitesse, la période orbitale (temps nécessaire pour repasser à la verticale du même point) varie de seize (16) jours (pour LANDSAT 4 et 5) à 26 jours (pour SPOT).

* Orbite : Chemin d'un satellite autour d'un corps sous l'influence de la gravité (attraction exercée par le corps) et de la force centrifuge (due à la vitesse du satellite).

LANDSAT

Le programme ERTS initié en 1967 et qui a donné naissance aux LANDSATS 1, 2 et 3 (première génération) continue de nos jours avec LANDSAT 4 et 5 (seconde génération). Ces deux générations diffèrent l'un de l'autre non seulement par leur altitude (907 km pour la première contre 705 km pour la deuxième) et par leur période orbitale (18 jours pour la première et 16 pour la deuxième) mais aussi par la nature, la précision de leurs différents capteurs (radiomètres) : omniprésence de MSS depuis LANDSAT 1; expérimentation non concluante de "Return Beam Vidicom" (RBV ou radiomètre à balayage électronique) sur LANDSAT 3 et expérimentation concluante et adoption de TM à partir de LANDSAT 4 : cf. Tableau A11. (p.4')

a1 - LANDSAT 4 et 5

Ce sont ces deux satellites du programme ERTS qui nous ont procuré les images de la saison sèche 1986/1987.

LANDSAT 4 et 5 de construction identique (à la même altitude de 705 km) ont été mis en orbite respectivement le 16 Juillet 1982 et le 1er Mars 1984 avec un déphasage dans les enregistrements égal à la moitié de la période orbitale c'est-à-dire huit (8) jours : il en résulte la répétitivité de 8 jours.

a11 - L'orbite

LANDSAT 4 et 5 avec une vitesse d'environ 7.5 km/s ont une orbite quasi-circulaire à 705 km de la surface terrestre. La période d'une révolution est de 99 mn et les satellites passent à la même latitude toujours à la même heure locale.

La distance entre deux traces consécutives à l'Equateur est de 2.752 km et celle entre deux traces adjacentes de 172 km (au lieu de 185 km) ; ce qui permet un recouvrement* d'environ 7 % à l'Equateur : ce recouvrement devient de plus en plus important quant on s'éloigne en latitude à cause de la forme ellipsoïdique de la Terre.

* Recouvrement : portion d'images (ou de photos) adjacentes couvrant le même terrain et exprimée en pourcentage de la surface totale du document (image ou photo).

Un orbite se définit par les paramètres suivants : son apogée a , son périogée p , l'argument de son périogée w , l'ascension du noeud ascendant Ω et l'angle d'inclinaison i :

Figure 8' : Les différents paramètres de l'orbite d'un satellite

Notre intérêt sur cette Figure porte sur l'angle d'inclinaison i duquel dépendent l'argument du périogée w et l'ascension du noeud ascendant Ω .

Afin d'observer un même point à la surface de la Terre à la même heure, avec le même angle et donc dans les mêmes conditions d'éclairement, le satellite doit non seulement avoir une période de révolution fixe de 99 mn (par la combinaison des différents systèmes de contrôle) mais aussi garder le plan de son orbite dans un écartement angulaire et constant par rapport à la direction du soleil : c'est la précession du noeud ascendant Ω . En d'autres termes, pour avoir l'orientation du plan orbital par rapport à la direction du soleil constante pendant toute l'année, ce plan doit se déplacer pour compenser les 360° annuels de rotation de la Terre autour du soleil par une précession de $\frac{360^\circ}{365 \text{ jours}}$ soit $0.986^\circ/\text{jour}$ (mais en gardant toujours le même angle d'inclinaison i). : c'est l'héliosynchronisme : Figure 9' : La précession du plan orbital et l'héliosynchronisme.

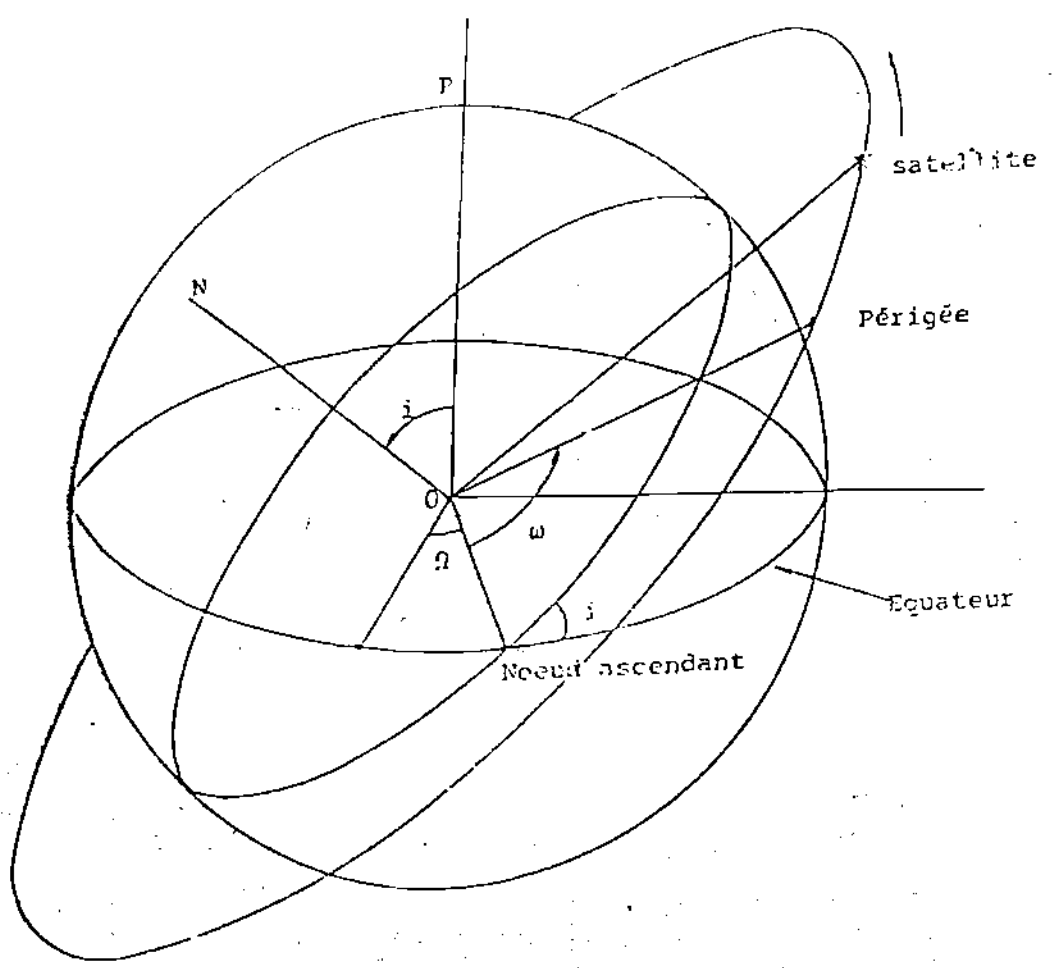
a12. La construction

LANDSAT 4 et 5 comme tous les autres satellites d'observation de la Terre sont construits suivant le même schéma général qui répond à trois préoccupations principales qui sont :

- donner un mouvement cyclique au satellite et une certaine durée de vie par la combinaison de sa vitesse initiale, son altitude de lancement et un système de localisation permettant au satellite de rester dans son orbite.

- disposer d'un système de fourniture d'énergie (panneaux solaires); de contrôle de l'attitude du satellite pendant les prises de vues ;

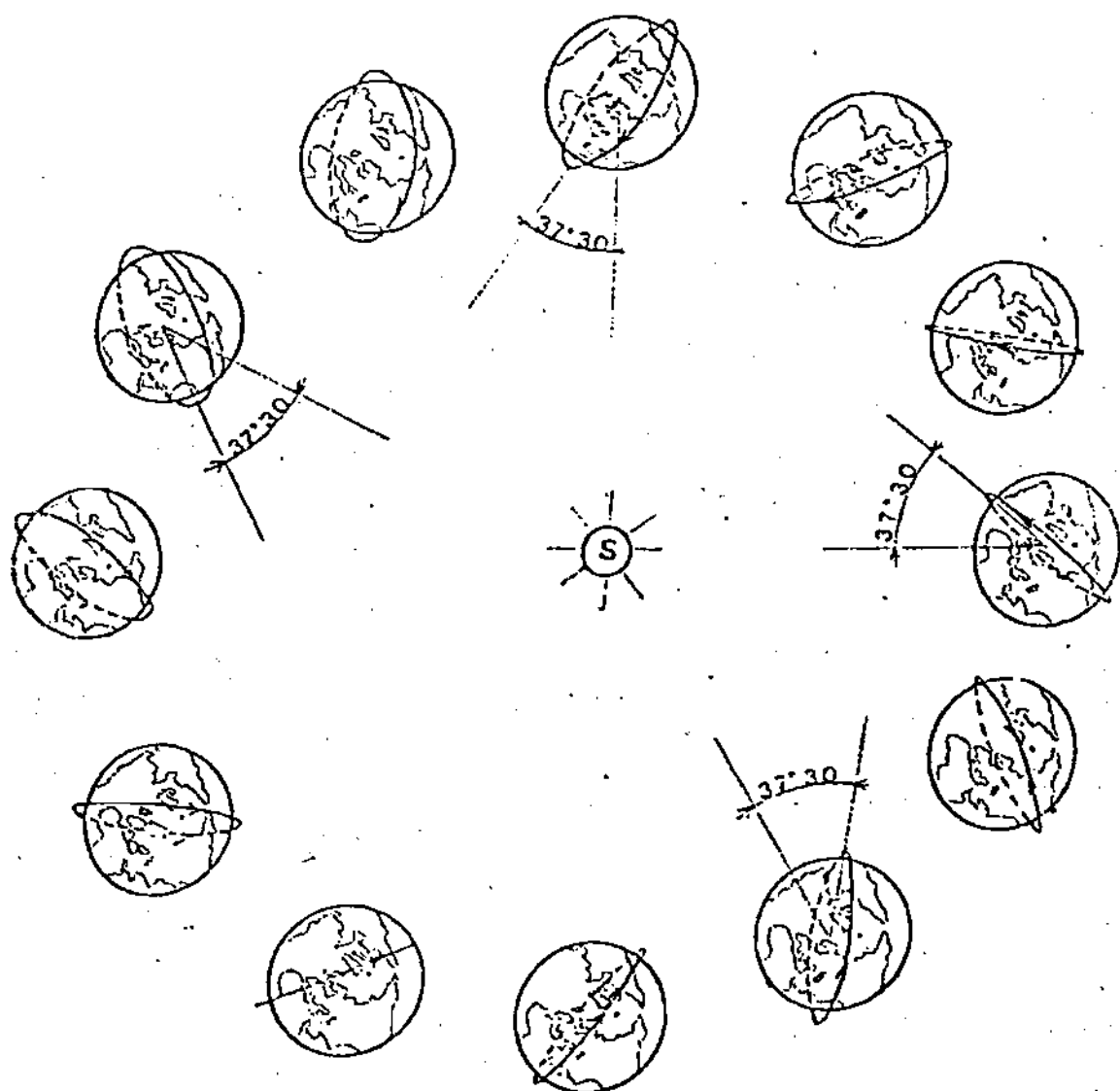
Figure 8' : Les différents paramètres de l'orbite d'un satellite (d'après le cours de M. E. Philippe).



- P : Pôle N
- N : Normale au plan orbital
- i : Angle d'inclinaison
- Ω : Ascension du noeud ascendant
- w : Argument du périgé.

Figure 9 : L'ORBITE DU SATELLITE ET SA PRECESSION

DANS LE PLAN DE L'ECLIPTIQUE



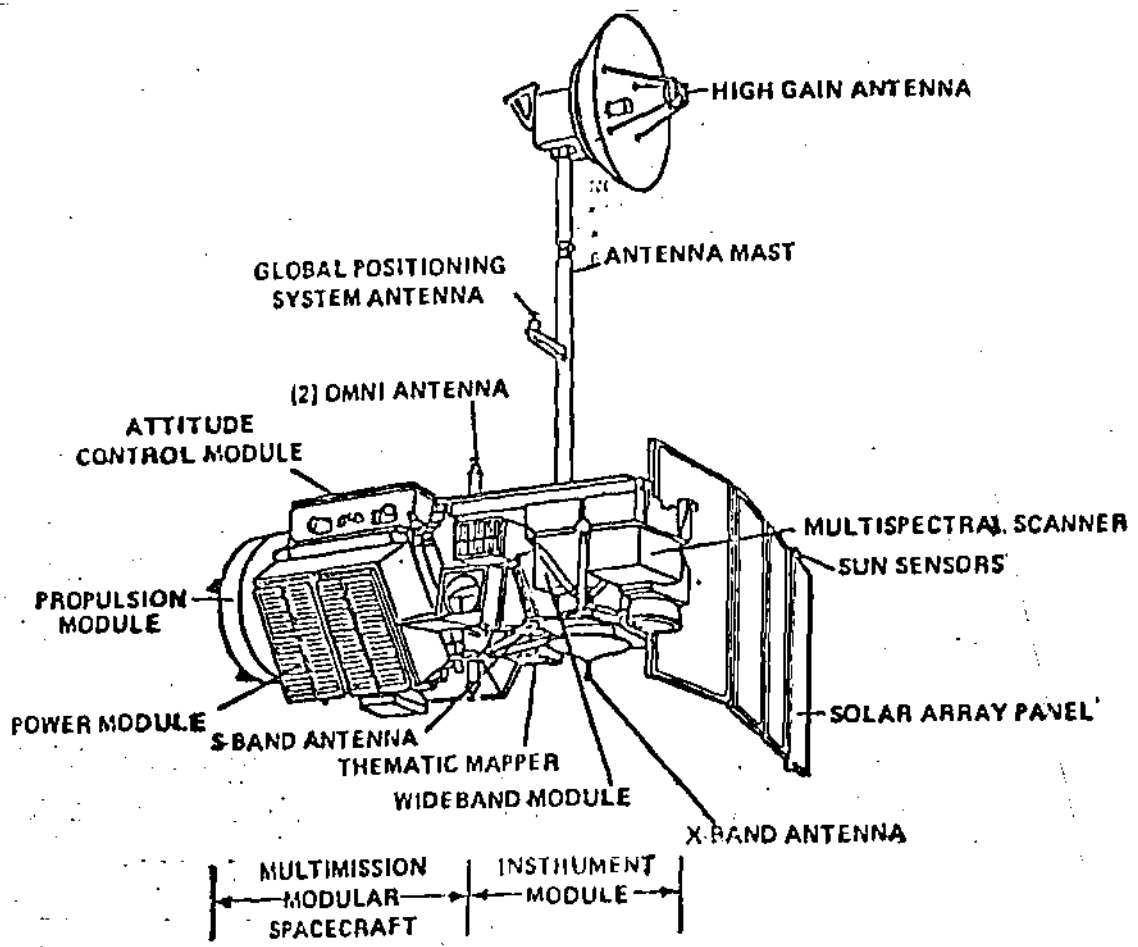
La précession du plan de l'orbite compense le mouvement apparent du soleil (360° par an) et contribue à rendre constante l'orientation du plan orbital par rapport au soleil.

- disposer d'un système adéquat de captage (radiomètres MSS et TM), de traitement (numérisation) et de transmission (antenne) au sol des informations enregistrées : cf. Figure 10'.

a13 - Les capteurs

Les capteurs placés à bord des LANDSATS 4 et 5 sont ceux déjà décrits dans le volet "Les capteurs et les plate-formes (vecteurs)".

Figure 10' : Configuration générale de LANDSAT 4 et 5
(d'après LANDSATTIMELINE).



II.2 - Le traitement des informations enregistrées

Après l'enregistrement des informations par les capteurs, un certain nombre de traitements est nécessaire dans le but non seulement de restituer aussi fidèlement que possible la scène enregistrée mais aussi de traduire le langage des capteurs en un autre accessible aux utilisateurs en fournissant des produits de qualité satisfaisante.

II.2.1 - Le prétraitement

Il consiste à débarrasser de l'enregistrement des informations toutes les anomalies.

II.2.1.1.- Les corrections géométriques

Elles sont principalement au nombre de quatre (4) pour le prétraitement des images LANDSAT :

1. La transformation de la configuration carrée des scènes originales en losange : elle consiste à utiliser des procédés informatiques de calcul permettant le réagencement des pixels en ceux d'un losange.

2. Le comblement des trous de pixels dû non à un défaut de fonctionnement du détecteur mais plutôt à la sphéricité de la Terre ; cette correction est possible grâce à "un ^{ré}échantillonnage systématique" à partir de la courbe de variation des valeurs radiométriques de tous les pixels constituant la scène.

3. L'augmentation ou la diminution du nombre de pixels et/ou leur déplacement ou la recombinaison entre scènes adjacentes dus respectivement aux perturbations d'orbites et à la variation d'attitude du satellite.

II.2.2 - Le traitement proprement dit

1. La valeur radiométrique d'un pixel p_i dépendant non seulement de sa réflectance mais aussi de celui de tous les pixels environnants, il s'avère nécessaire pour avoir la réflectance réelle de p_i d'en tenir compte dans les calculs (déconvolution de la valeur radiométrique).

2. On devra aussi corriger l'influence des différentes conditions météorologiques (nébulosité notamment) qui modifient la réflectance des radiations lors de leur voyage à travers l'atmosphère.

3. L'uniformisation de l'intensité de l'éclairement à travers la surface de l'image devrait aussi être réalisée car cet éclairement tend à diminuer quand on part du centre de l'image vers les bordures.

4. On devra songer à corriger le lignage : c'est le délignage qui consiste à corriger les pixels de radiométrie anormalement faible ou forte due à un défaut de calibration entre les différents détecteurs. Cette correction se fait par rapport aux pixels environnants de radiométrie normale.

5. La mise des informations enregistrées dans un système de projection cartographique (MTU, conique ...).

Après cette étape de traitement utilisant des procédés informatiques, vient celle de la visualisation des informations enregistrées et corrigées sur un support, étape qui sera abordée dans le volet suivant.

III.2.3 - Les différents types de visualisation des informations enregistrées.

II.2.3.1 - Les visualisations sur émulsion photographique

Les visualisations sur émulsion photographique peuvent être obtenues aussi bien à partir des photographies enregistrées par une chambre photographique que des bandes magnétiques des radiomètres.

a. Terminologie

- Une photographie ou photo est le résultat de l'action directe de la lumière provenant (réfléchi) d'un objet sur une matière qui lui est spécifiquement sensible (photosensible) : c'est l'émulsion. Pour les photos noir et blanc;

L'émulsion est constituée par une couche de gélatine dans laquelle baigne de l'halogénure d'Argent sous forme de cristaux considérés ici comme des détecteurs.

Pour les photos couleur; l'émulsion est constituée par trois couches respectivement sensibles du haut vers le bas aux trois couleurs primaires, bleu; vert et rouge.

L'émulsion est supportée par du plastique (support) et protégée vers le haut par une couche protectrice et vers le bas par une couche antihalo : l'ensemble forme le film qui, placé dans le "fond de chambre" d'un appareil photo; recueille l'image latente* issue de l'exposition*.

- une image est le résultat de la conversion analogique* des données numériques des radiomètres. Ces données numériques sont obtenues par transformation par les détecteurs de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les images sont alors obtenues par un système de conversion (lecture-transformation- "impression") des données numériques.

b. Le "Traitement photographique" noir et blanc

Nous entendons par "traitement photographique" noir et blanc le processus conduisant à l'obtention d'un négatif puis d'un tirage-papier sur lequel on ne distingue que des niveaux de gris allant du blanc au noir suivant la radiométrie des différents objets photographiés.

* Image latente : "image invisible produite par l'effet photochimique de la lumière sur les halogénures d'Argent en cristaux présents dans l'émulsion du film". Le développement photographique rend visible l'image latente.

Exposition : quantité de lumière (réfléchié par un objet) éclairant-le film.

Analogique : "forme de présentation des données enregistrées dans laquelle les valeurs sont présentées sous forme graphique telle que les courbes; c'est également une forme de calcul dans laquelle les valeurs sont directement représentées par des quantités mesurables telles que les voltages ou résistances" Contraire : numérique.

1 - Le traitement de l'image latente

Il doit se dérouler dans des conditions très précises c'est-à-dire à l'abri de la lumière, de l'humidité et de la forte température. Il comprend les étapes suivantes :

- le développement pendant lequel le bain révélateur fait apparaître "l'image négative" à la place de celle latente.
- le bain d'arrêt de l'action du révélateur,
- le bain de fixation qui dissout les halogénures d'Argent non exposées,
- le lavage,
- le séchage.

Après ces cinq (5) étapes, on a un film négatif ou la géométrie et les tonalités sont inverses de celles réellement existantes sur l'objet : c'est ainsi qu'un feu de brousse de tonalité sombre (noir) sur le terrain apparaîtra transparent (blanc) sur un film négatif.

2. La visualisation sur papier photographique.

Il consiste en la conversion ("correction") géométrique tonale des informations du film négatif : on obtient alors un positif c'est-à-dire un document "restituant fidèlement" les caractéristiques de l'objet photographié. Le négatif est introduit dans un agrandisseur (qui projette des radiations à travers le négatif sur une émulsion) ou un vacuum (qui met en contact le négatif et l'émulsion) pour obtenir l'image latente qui sera visualisée par le même traitement que précédemment (cf. "1. Le traitement de l'image latente").

Quand nous prenons une photo, l'obturateur s'ouvre et laisse la lumière éclairer certaines parties du film. Quand le film ainsi exposé est développé (négatif), les parties ayant été illuminées apparaissent en sombre car les halogénures auraient été réduites par le révélateur (base)

entraînant de ce fait l'apparition d'un niveau de gris proportionnel à la réflectance de l'objet photographié et tous deux fonction de la longueur d'onde. Quand nous étudions le "comportement" (variations) des niveaux de gris d'une réflectance donnée sur un film en fonction des conditions de la prise de vue et/ou du développement (temps, composition et concentration des solutions ...), nous étudions la sensitométrie de ce film. Elle nous indique quel film utiliser dans telle ou telle condition pour tel ou tel but et quel développement spécifique appliquer au film exposé.

Quand une photo ou une image est obtenue à partir de normes sensitométriques correctes, il est aisé de discriminer de petites différences de niveau de gris : on dit que de telles images sont bien contrastées.

Quant le contraste n'est pas assez fort pour la mise en évidence de certains phénomènes, on procède alors à un rehaussement de contraste.

III.2.3.2 - Le traitement numérique des images satellite sur écran d'ordinateur

Cette possibilité de visualisation est réalisable grâce à la disponibilité des informations enregistrées sous forme de données numériques : bandes magnétiques (CCT) ou disquettes.

Ces données numériques sont introduites dans un ordinateur-processeur d'images qui dispose d'un clavier permettant à l'opérateur-interprète de composer le programme désiré : l'image apparaissant sur l'écran à l'issue de l'exécution du programme est constituée par différents niveaux de gris dont le nombre dépend du nombre n de bits* utilisé : le nombre des niveaux de gris = 2^n (pour $n = 8$, on aura 256 niveaux de gris).

L'image affichée sur l'écran peut être éditée à l'aide d'une imprimante, d'un système photocopieur, d'un système de photographie d'écran ou d'un restituteur des données numériques en données analogiques.

.../...

Cette possibilité de traitement des données enregistrées est d'autant plus intéressante qu'elle est rapide et souple grâce aux procédés informatiques.

.../...

II.3 - Notion de photogrammétrie et de cartographie

II.3.1 - La photogrammétrie

II.3.1 1 - Définition

"La photogrammétrie est la Science, l'Art et la Technologie permettant d'acquérir des informations et d'en obtenir des mesures fiables" (formes, dimensions, positions) afin de les réduire en des formats utilisables tels que les cartes.

La photogrammétrie se subdivise en deux grandes catégories d'application :

+ La photogrammétrie métrique qui a relation avec les mesures quantitatives :

- le calcul des positions au sol, élévations, distances, surfaces et volumes ;

- La cartographie planimétrique et topographique.

+ La photointerprétation qui a relation avec l'aspect qualitatif des objets observés tels que la détection des eaux polluées, la classification des sols, l'interprétation des formations géologiques, l'interprétation des feux de brousse ...

Dans la pratique, la photogrammétrie est la combinaison de la photogrammétrie métrique et de la photointerprétation car bien souvent nous sommes obligés d'utiliser des éléments de photointerprétation pour pouvoir réaliser des mesures quantitatives ou des cartes planimétriques ou topographiques et vice versa.

Notre étude portant sur la recherche méthodologique de l'interprétation et de la cartographie des feux de brousse à partir de l'imagerie LANDSAT se trouve de ce fait, intéressée par l'interprétation des images (appréciation qualitative des objets et phénomènes) d'une part, par la cartographie planimétrique qui a comme corollaire l'évaluation des surfaces planimétriques par représentation

des objets et phénomènes selon les deux dimensions de la projection horizontale).

II.3.1.2 - L'interprétation des images MSS

Les images sont acquises par le système passif de captage c'est-à-dire que le radiomètre MSS se contente d'enregistrer les radiations solaires de longueur d'ondes différentes réfléchies par les objets du sol ; et par la suite ces radiations sont converties en niveaux de gris sur émulsion photographique pour former différentes images.

"L'interprétation d'une image satellite est l'art et l'acte permettant d'identifier les surfaces (du terrain) représentées par des images à deux dimensions obtenues par différents systèmes de télédétection".

L'interprétation des images comme d'ailleurs celle de la photographie est basée sur l'analyse de plusieurs critères fondamentaux dont le nombre et l'importance varient selon les domaines d'application de la télédétection.

Les critères fondamentaux d'interprétation des objets communément utilisés sont :

- La forme (ou géométrie) de l'objet à identifier,
- Son association (ou environnement);
- Sa texture (rugosité ou lissage),
- Sa tonalité (sombre, moyenne, claire).
- Sa couleur (ou teinte),
- Son motif c'est-à-dire la configuration des objets identiques au niveau de chaque surface unitaire,
- Son ombre (pour les éléments du relief),
- Sa localisation dans l'espace (géographie);
- Sa dimension (relativement à l'échelle),
- Son comportement spectral.

Bien souvent, l'interprétation se trouve facilitée par un choix adéquat non seulement de la bande d'enregistrement (visible, PIR, IRM) mais aussi de la précision de l'enregistrement c'est-à-dire de la résolution spatiale et de l'échelle.

Un facteur non moins important dans le succès de l'interprétation et surtout dans l'atteinte des objectifs de l'étude pour laquelle l'interprétation est faite (étude temporelle, étude évolutive, identification d'espèces végétales ...) est le choix adéquat du temps et/ou de la cadence des prises de vue en fonction des importantes variations temporelles susceptibles de donner des indices de différenciation des objets ou phénomènes.

Pour les études multitemporelles comme celles sur les feux de brousse, l'interprétation sera d'autant plus aisée que l'on veillera à ce que la prise de vue se fasse dans les mêmes conditions (c'est-à-dire constantes) d'éclairement, d'heure et d'atmosphère : dans ces conditions la seule variable serait donc l'époque de la prise de vue.

L'aspect qualitatif de l'interprétation (visuelle) requiert de l'interprète d'une part une bonne expérience, une certaine finesse dans l'observation des objets, une bonne imagination et une patience sans faille et d'autre part, une vérification et une actualisation des résultats de son interprétation sur le terrain (vérification-terrain).

II.3.2 - La cartographie

La cartographie constitue l'étape finale de tout projet de photointerprétation. Elle a pour but l'extraction des résultats de l'interprétation des documents de base qui contiennent beaucoup d'informations et leur consignation dans un document dérivé (carte) en respectant des règles précises.

II.3.2.1 - Définition

Selon l'association cartographique internationale (ACI) "la cartographie est l'ensemble des études et des opérations scientifiques, artistiques et techniques intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation en vue de l'élaboration de cartes, plans et autres modes d'expressions, ainsi que dans leur utilisation" (Cartographie générale - R. CUENIN).

De même R. Cuénin définit la carte comme étant "une simple image visuelle ou photographique d'une région donnée. Elle constitue alors le moyen le plus efficace pour enregistrer, calculer, révéler, analyser et comprendre les relations spatiales qui existent entre les différents phénomènes concrets ou abstraits dont la localisation est géographique".

Ainsi par la cartographie nous serions capables de nous représenter avec une certaine précision l'espace tout simplement en observant sa "traduction graphique spécialisée" qu'est la carte.

On distingue plusieurs classifications des cartes dont l'une d'entre elles, méthodologique et scientifique, se subdivise en cartes topographiques basées sur la représentation des observations planimétriques et altimétriques et en cartes thématiques représentant des "phénomènes qualitatifs ou quantitatifs, concrets ou abstraits, circonscrits et limités par le choix d'un thème et d'un sujet particulier.

II.3.2.1 - La réalisation d'une carte

La réalisation d'une carte peut se diviser en trois principales étapes : La conception, la production et l'utilisation.

a. La conception

Elle consiste à rechercher les voies et moyens de la meilleure représentation possible du phénomène devant être cartographié en définissant un certain nombre de paramètres en fonction; bien entendu, des disponibilités.

Les paramètres devant être définis sont entre autres le système de projection, l'échelle, le format, la meilleure manière de transcription des informations.

a1 - Le système de projection

"Un système de projection est un moyen de correspondance analytique entre les points de la surface à représenter (généralement la surface terrestre de forme ellipsoïdique)

et les points homologues du plan tel que cette correspondance soit continue et biunivoque".

Ainsi un point P_i de la surface du globe terrestre référé par ses coordonnées géographiques latitude* et longitude* (L et M) peut être représenté sur un plan dont les fonctions de projection f et g de forme $f(L, M) = x$ et $g(L, M) = Y$ sont bien définies. Les coordonnées géographiques de ce point P_i sont alors converties en coordonnées rectangulaires x et y.

Les systèmes de projection sont classés d'après les altérations résultant de leur application et d'après leurs propriétés géométriques :

+ Classement d'après les altérations. On distingue :

- Les projections conformes "qui conservent les angles élémentaires".
- Les projections équivalentes "qui conservent les surfaces ou plus exactement, le rapport des surfaces de la terre à la carte".

+ Classement d'après les propriétés géométriques ; on distingue entre autres projections :

- Les projections cylindriques où les Méridiens sont des droites parallèles et les parallèles des droites parallèles entre elles et orthogonales aux premières.

Les déformations dues à ce type de projection sont maximales au niveau des pôles.

Il existe plusieurs types de projections cylindriques pouvant se représenter sous les trois aspects direct, transverse ou oblique ; la projection qui retiendra notre attention est celle conforme de Mercator d'aspect transverse ou MTU (Mercator Transverse Universel) ou projection de Gauss où

* Latitude d'un point : "mesure de l'arc de méridien de l'Equateur au point donné".

* Longitude d'un lieu : "mesure de l'arc d'Equateur entre le méridien et un méridien choisi comme origine".

* Méridien : "grands cercles passant par les deux pôles"

* Parallèles : "lignes circulaires parallèles à l'Equateur".

L'Equateur coupe normalement le méridien central et où les autres Parallèles et Méridiens sont des "courbes transcendentes orthogonales entre elles" : cf. Figure 11'a Dans ce système de projection, le globe est divisé en soixante (60) fuseaux de 6° d'amplitude.

- Les projections coniques ou les Méridiens sont des lignes concurrentes et les Parallèles des cercles concentriques Les déformations dues à ces projections sont maximales au niveau tangent (cf. Figure 11'b)

Un exemple de ce système de projection est celui conforme de Lambert.

Le choix d'une projection donnée dépend de l'aspect distance, surface, angle ... devant être mis en exergue : ainsi pour la cartographie des feux de brousse, il serait plus convenable de travailler avec un fond de carte et des images ayant subi une projection équivalente.

a2 - L'échelle et le format

L'échelle d'une carte est le rapport entre une distance mesurée sur cette carte et la distance correspondante sur le terrain.

Le choix de l'échelle d'une carte est, bien entendu, dépendant du thème à traiter mais aussi de la superficie de la zone de l'Etude; des moyens financiers disponibles pour cette étude; ainsi que du nombre et de la densité des détails à représenter :

de
En dépit de tous ces critères de choix /l'échelle d'une carte, certains thèmes exigent une échelle minimale qui, si elle n'est pas atteinte, porte un véritable préjudice à la lisibilité des informations reportées : Exemple : l'échelle minimale du 1/500.000e est fréquemment utilisée pour les études de la végétation.

Le format (ou les dimensions) d'une carte dépend des dimensions du papier sur lequel la carte est éditée et aussi des dimensions des appareils servant à cette édition:

(d'après R. Cuenin).

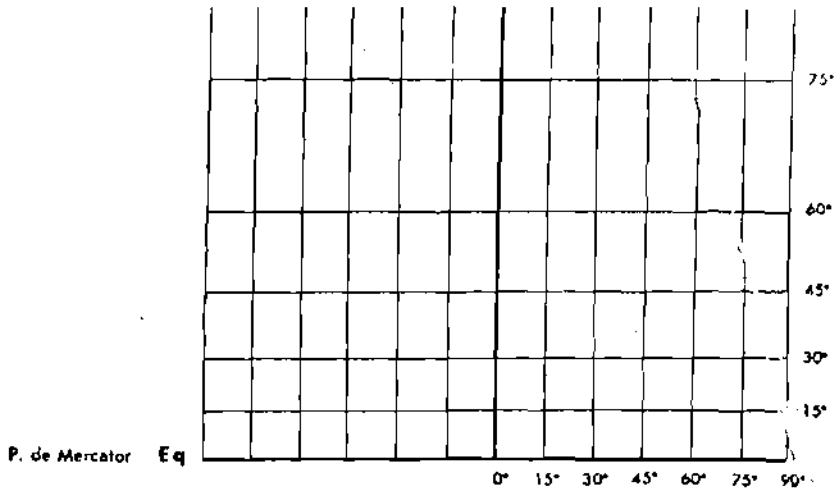
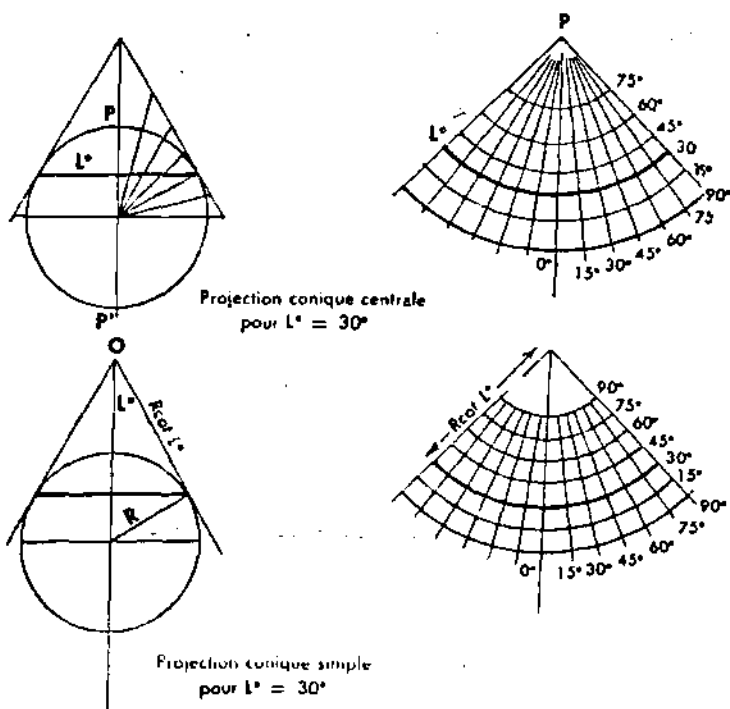


Figure 11' b : Représentation de la projection conique (d'après R. Cuenin)



On doit tenir compte du format dans le découpage d'une carte.

a3 - La transcription des informations

L'interprète devra imaginer les moyens d'expression les plus efficaces et les plus universels possibles pour la communication des informations de sa carte : c'est pourquoi les cartographes aussi bien que les utilisateurs des cartes devront posséder un minimum de connaissances cartographiques.

b. La production

Elle comprend :

- La phase de préparation où l'interprète collecte et sélectionne les données de base et où le cartographe réalise les supports ou fonds de carte à l'échelle, au format et aux systèmes de projection et de référence prévus.

- La phase de rédaction et de reproduction où l'interprète extrait les informations de base qui l'intéressent pour les transcrire (suivant le mode d'expression choisi) sur le fond de carte (cartographie de compilation) et où le reprographe multiplie par différentes techniques de reproduction (diaz, procédé classique d'imprimerie ...) la carte originale

c. L'utilisation des cartes

Elle constitue le principal objectif de tout projet de photointerprétation.

Pour pouvoir utiliser une carte il faut préalablement savoir ce que nous voulons comme information(s) et ensuite savoir ce que la carte contient comme informations : nature, nombre, degré de précision, zone couverte ... Tous ces paramètres doivent être consignés sur la carte par le titre, la légende, l'échelle, les coordonnées et l'orientation géographique.

Toute forme d'utilisation d'une carte nécessite qu'on se fasse une idée de grandeur plus ou moins précise des informations recherchées d'où, nécessite des mesures plus ou moins précises des distances, des surfaces...

A N N E X E 2 : LES MESURES RADIOMETRIQUES EXPERIMENTALES

A défaut d'aller sur le terrain pour faire des observations sur les zones brûlées et leur environnement, nous avons trouvé un moyen de créer (simuler) des conditions de terrain non loin de notre base en vue d'entrer en possession des informations désirées, sous les précieuses instructions de M. François RIBOT, Directeur Adjoint de la Formation du C.R.T.O.

Cette simulation des conditions de terrain consistait à délimiter des parcelles de 2 m X 2 m et à y faire des mesures radiométriques avant et après leur mise à feu.

Ces expériences ont été complétées par des mesures radiométriques faites sur des cuirasses latéritiques du Golf (route de Pô) et le plan d'eau de Koubrî Nabmanaguéma (Carte IGB au 1/50.000e).

I - Le radiomètre

Nous avons utilisé le radiomètre "EXOTECH" muni d'un enregistreur "POLYCODER (microordinateur). Ce radiomètre dispose des mêmes canaux que ceux de LANDSAT MSS.

I.1 - La préparation du radiomètre

Elle consiste à :

- Connecter le radiomètre au microordinateur
- Vérifier si la batterie fournit un voltage suffisant (supérieur ou égal 0.7 volt) pour effectuer des mesures
- Mettre le gain à 1 pour les mesures de radiations incidentes et 5 pour celles de radiations réfléchies
- Placer les objectifs 2π stéradians (opaques) pour la mesure des radiations incidentes et ceux 15° (translucides et neutres) pour les mesures des radiations réfléchies.

I.2 - L'enregistrement

Il consiste à demander au microordinateur d'effectuer le programme "RADIO 15 M" (ou respectivement "RADIO 2π M" pour les mesures de radiations incidentes) en mode 0. Les canaux du radiomètre devront être tournés à ce moment vers l'objet dont la radiométrie est mesurée.

II - Les zones expérimentales

Le but de ces expériences étant d'avoir des résultats nous permettant de corroborer nos différents exposés sur l'environnement immédiat des feux et leur influence sur l'interprétation, il s'avérait nécessaire que le choix de ces zones fût orienté vers ses fins.

Ainsi nous avons choisi cinq (5) "types d'environnement.

II.1 - La cuirasse latéritique (de A à D)

C'est celle du golf sur la route bitumée menant à Pô. Selon la topographie de la cuirasse nous (M. DUFOUR et moi-même) avons défini quatre (4) éléments de relief dont les propositions rx sont définies ainsi qu'il suit :

A : Sommet de la cuirasse (Sub-horizontale) ou plateau, 30 % de la surface de la cuirasse.

B : haut de pente ou forte pente, 10 %

C : Piedmont ou faible pente, 5 %

D : Plaine, 55 %.

Ces différents éléments du relief sont soit nus, indice 2 soit couverts d'herbes sèches, indice 1 dont la densité varie selon l'élément de relief.

les espèces herbacées croissant dans les différentes parties d'élément de relief d'indice 1 sont :

A1 : Dominance de "Cténium elegans" (sec)

B1 : Dominance de "Loudetia togoensis" (sec)

C1 : Dominance de "Loudetia togoensis" (sec).

D1 : Dominance de "Andropogon gayanus" (vert)

Huit (8) zones ont donc été arbitrairement choisies dont deux dans chaque élément de relief et des mesures radiométriques ont été faites sur ces zones ; les réflectances sont consignées dans la fiche des résultats des mesures de réflectance : Tableau A2.1.

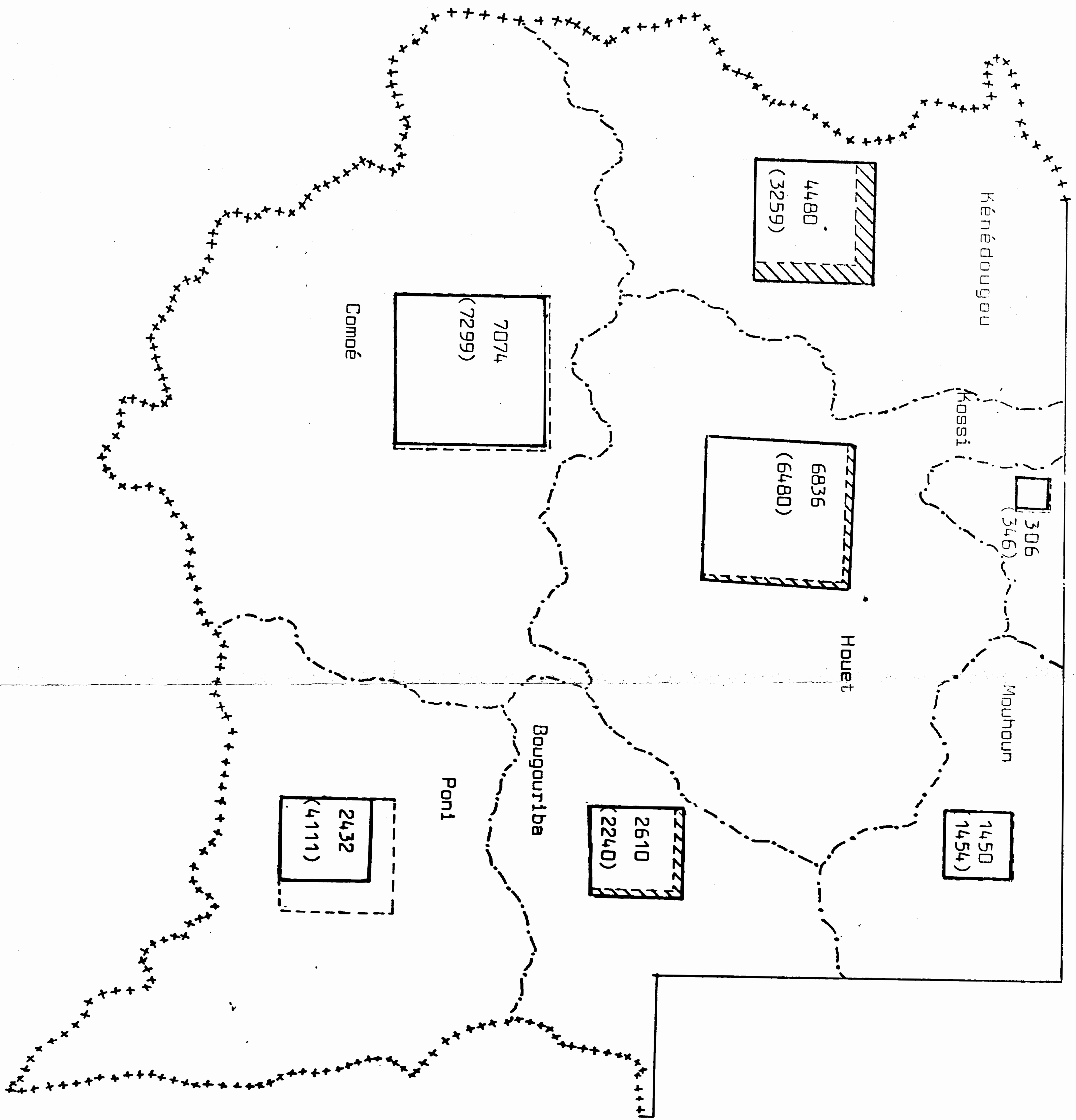
A partir des réflectances de ces huit (8) zones (obtenues par les mesures radiométriques sur les pixels de 0.1×10^{-4} ha), il est possible d'avoir la réflectance globale de la cuirasse par la formule de pondération suivante :

Date : 6/11/87	N° de feuille/nombre total de feuilles : /
Opérateur : COMPAORE	Projet ou Stage : Feux de brousse
Secrétaire : DUFOR	

FICHER REFLECT. M1

Localisation : Golf	Canaux : MSS	Température :
	Nombre de répétitions : 3	Couverture nuageuse :
Feuille au 1/200.000 :	Objectifs : 15°	

Zone	et (ou) objet mesuré	Heure des mesures	Réflectances R (en %) et écarts-types à $n \sigma_n$								Observations :
			Canal A		Canal B		Canal C		Canal D		
			R	σ_n	R	σ_n	R	σ_n	R	σ_n	
A	1	11 h 33 min	12.8		17.7		24.5		26.3		$C_A = 10\%$
	2		9.4		14.2		17.1		14.7		
B	1		13.4		18.7		24.4		25.2		$C_B = 20\%$
	2		9.2		14.9		18.2		15.3		
C	1		9.7		14.8		21.7		26.0		$C_C = 5\%$
	2		9.2		14.6		18.4		15.5		
D	1		5.7		11.1		20.6		24.1		$C_D = 1\%$
	2	12 03	10.2		16.9		20.5		17.2		



ECHELLE : 1 : 1.500.000



LEGENDE

• Surfaces brûlées (km²)

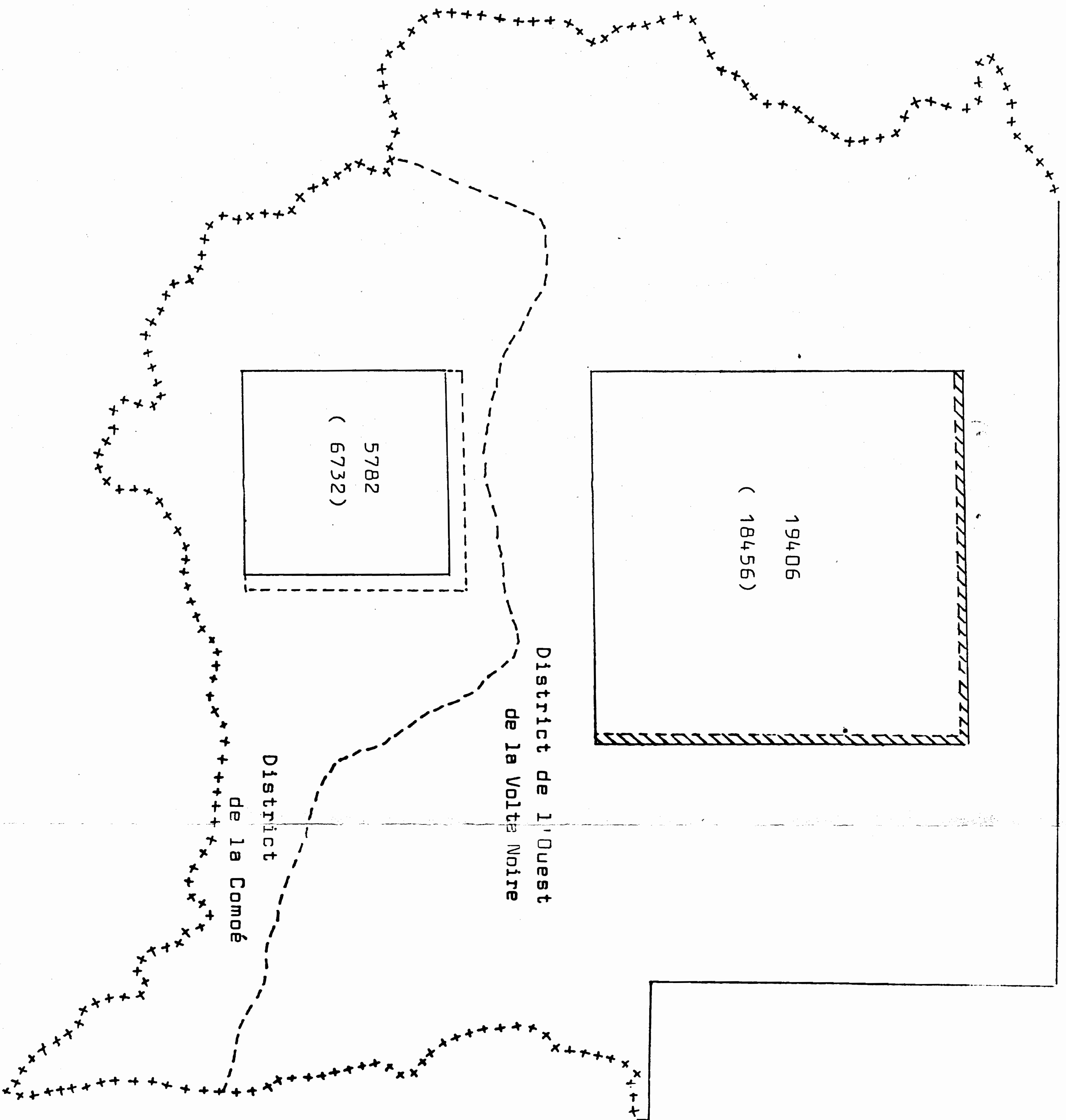
▭ Surface brûlée de la Province

▭ (1000) Surface régionale moyenne pondérée

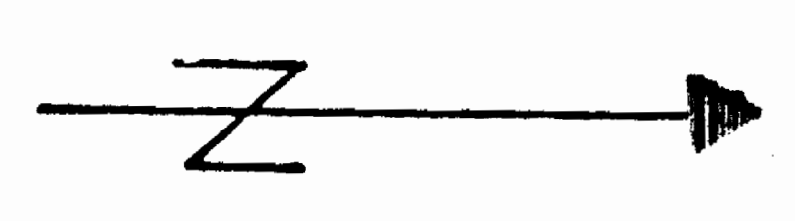
• Écart à la moyenne

▨ Supérieur à la moyenne

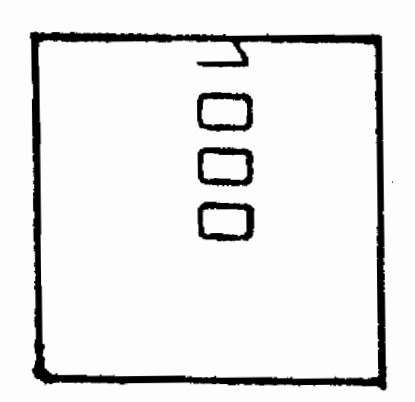
▭ Inférieur à la moyenne



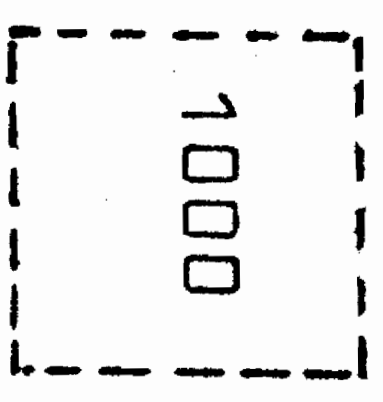
ECHELLE 1:1.500.000



LEGENDE
• Surfaces brûlées (km²)

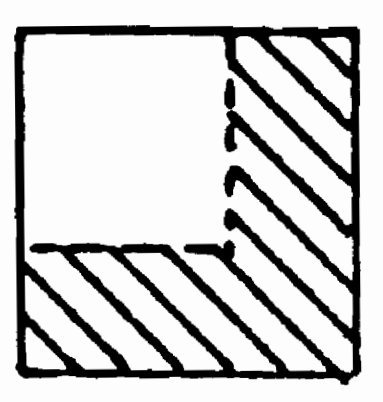


1000
Surface brûlée
du District

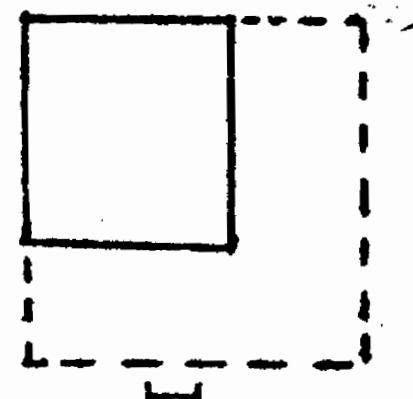


1000
Surface régionale
moyenne pondérée

• Ecart à la moyenne

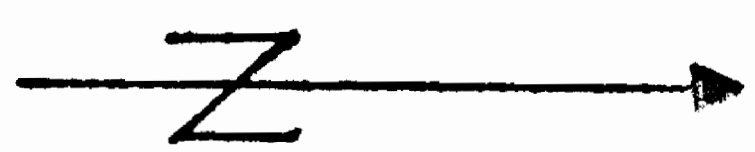


Supérieur

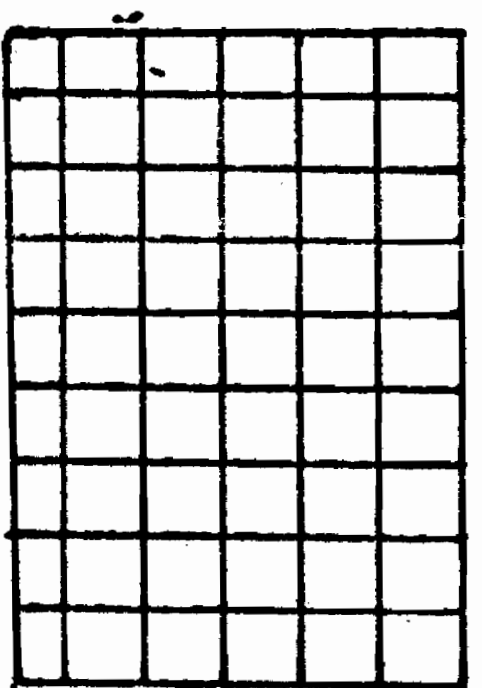


Inférieur

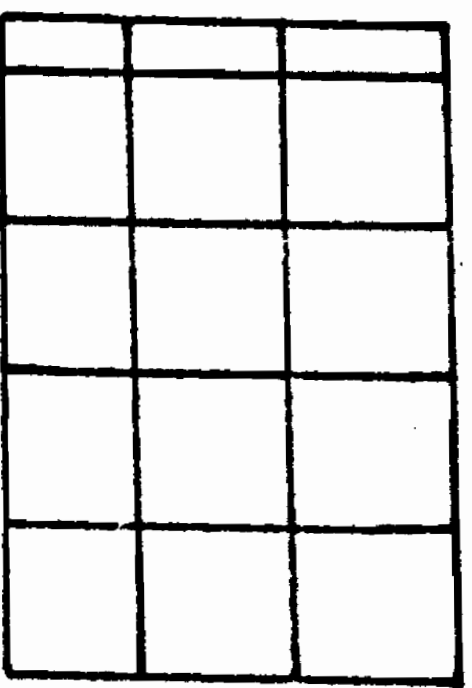
ECHELLE 1 : 1.500.000



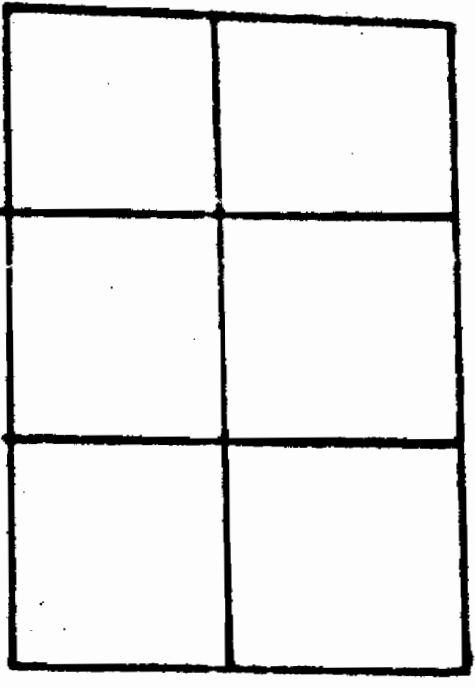
LEGENDE



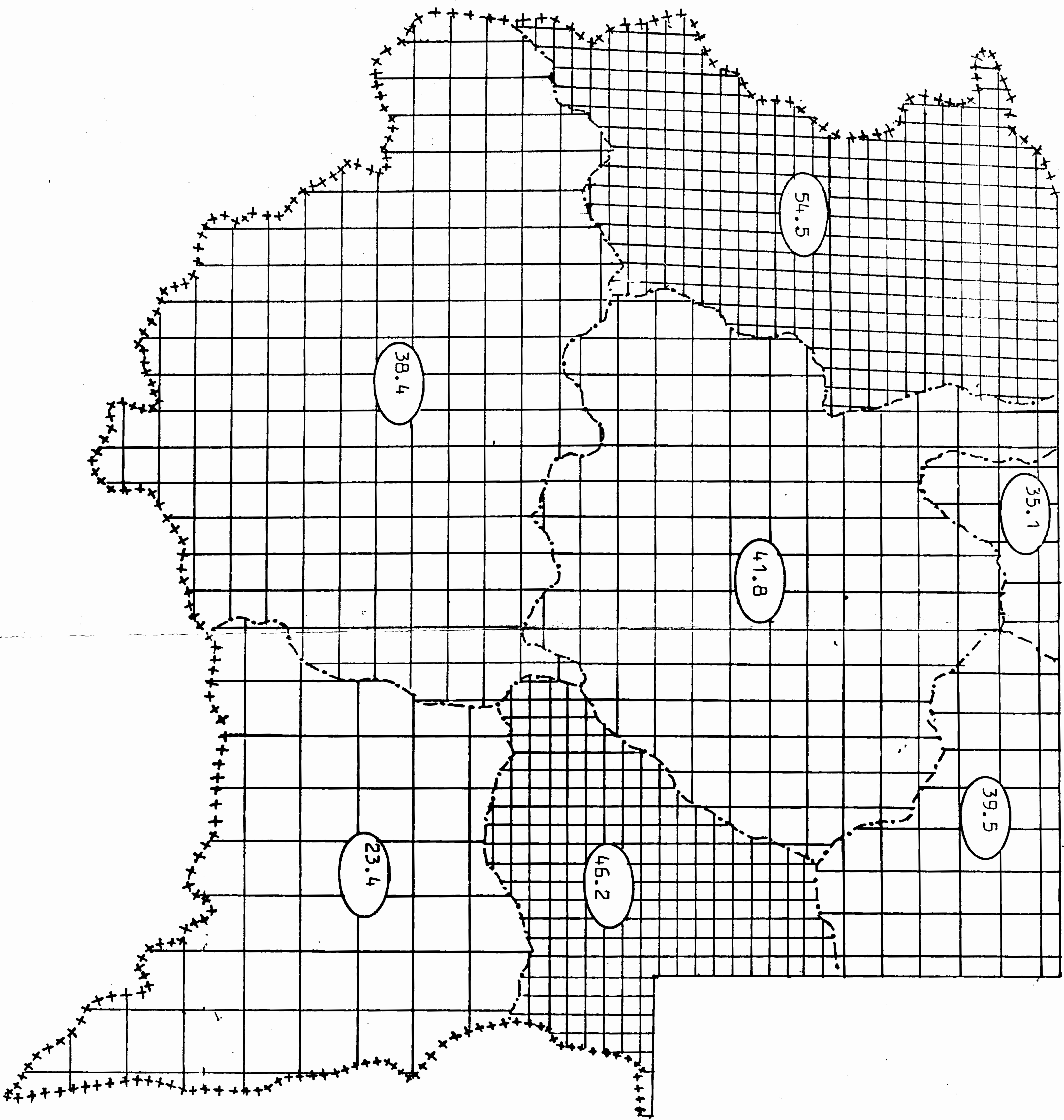
Pourcentage de surface brûlée par rapport à la superficie de la Province supérieur à 45 %



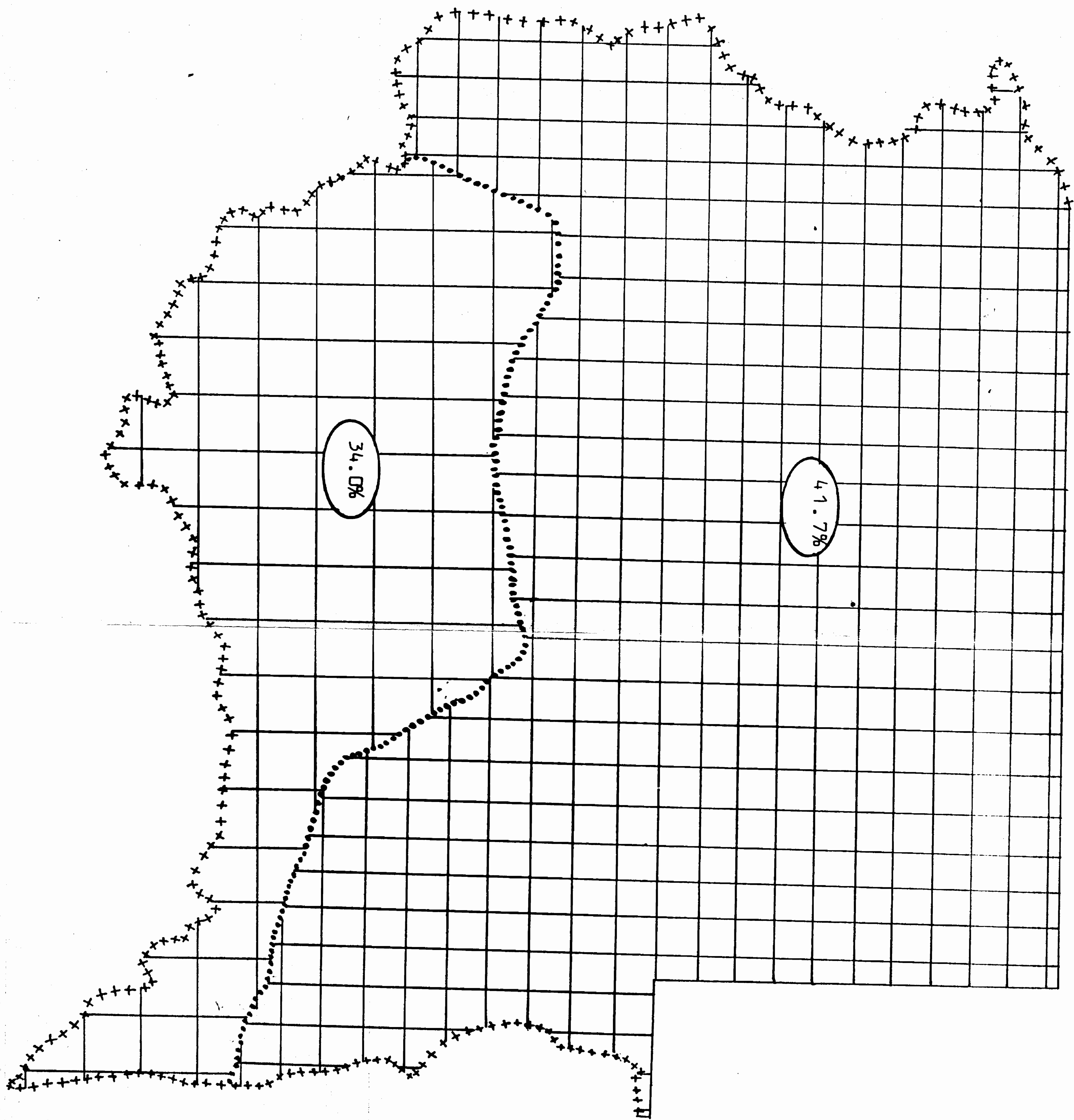
Pourcentage de surface brûlée compris entre 35 et 45 %



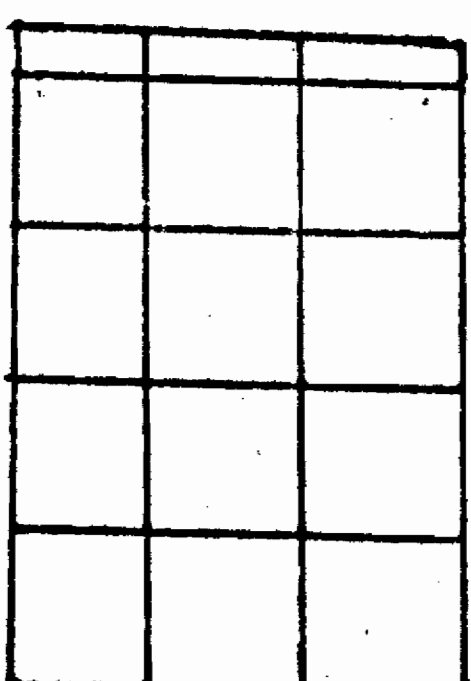
Pourcentage de surface brûlée inférieur à 35 %



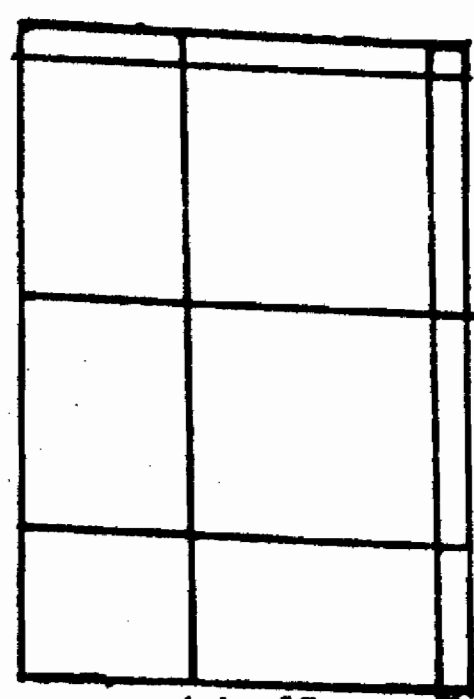
A l'intérieur des cadres "Ovales" sont précisés les % de surface brûlée de chaque Province.



LEGENDE



Pourcentage de surface brûlée par rapport à la surface totale du District de Volta Noire



Pourcentage de surface brûlée par rapport à la surface totale du District de la Comoe

A l'intérieur des cadres "Ovales" sont précisés les % brûlés de chaque District.

$$R_c^i = r_A \frac{CA R_{A1}^i + (1-CA) R_{A2}^i}{2} + r_B \frac{CB R_{B1}^i + (1-CB) R_{B2}^i}{2} + r_C \frac{CC R_{C1}^i + (1-CC) R_{C2}^i}{2} + r_D \frac{CD R_{D1}^i + (1-CD) R_{D2}^i}{2}$$

où : R_c^i est la réflectance de la cuirasse dans le canal MSS i , i variant de 1 à 4.

R_X^i est la réflectance de la zone X1 (ou respectivement X2) dans le canal MSS i , i variant de 1 à 4.

r_X est la proportion de X1 et X2 (plateau sub-horizontale haut de pente, bas de pente, plaine) par rapport à la surface totale de la cuirasse c .

CX est la densité du couvert végétal sur la zone X1.

On rappelle que la cuirasse a été divisée en quatre parties (A, B, C, D), chaque partie étant elle-même divisée en deux zones : X1 (avec végétation) et X2 (sans végétation) : cf. Tableau A2.1.

En réalité, r_X varie selon les périodes de la journée et selon la saison puisqu'il y a variation de l'angle d'incidence et donc de la réflexion en direction du capteur ; ceci entraîne une variation dans la contribution (en réflectances) des r_X qui n'ont plus de relation directe avec l'importance de leur surface, mais plutôt avec l'élévation du soleil.

En fonction de ce que nous avons constaté sur le terrain nous avons défini les différents poids (surfaces des éléments du relief par rapport à la surface totale de la cuirasse) et densité de couverture de l'herbe sèche) :

Tableau A.2.2.

En appliquant la formule de pondération nous aurons :

$$MSS1 = 0.3(1.28+8.46)/2+0.1(2.68 + 7.36)/2+0.05 (9.225/2+0.55 (10.155)/2 = 4.985$$

$$MSS 2 = 0.3(14.55)/2+0.1 (15.66)/2+0.05 (14.61)/2+0.55(16.842)/2 = 7.961$$

.../...

Tableau A.2.2 - Définition des coefficients de pondération : cuirasse du golf .

Element de relief	Coefficient	r_x	CX	
			Réf. x_1	Réf.: x_2
A : Plateau		0.3	0.1	0.9
B : haut de pente		0.1	0.2	0.8
C : faible pente		0.05	0.05	0.95
D : plaine		0.55	0.01	0.99

$$MSS3 = 0.3(17.84)/2 + 0.1(19.44)/2 + 0.05(18.56)/2 + 0.55(20.50)/2 = 9.749$$

$$MSS4 = 0.3(7.93)/2 + 0.1(17.28)/2 + 0.05(16.02)/2 + 0.55(17.27)/2 = 8.391.$$

Ces valeurs relatives ont été utilisées pour tracer la signature spectrale Figure 2.2.

Nous considérons cette courbe comme celle moyenne de tous les pixels de cette cuirasse du golf.

II.2 - Le plan d'eau : E

C'est sur le même plan d'eau qu'ont eu lieu les mesures du Tableau A.2.3.

E1 : partie du plan d'eau avec végétation

E2 : partie du plan d'eau sans végétation

Ici nous avons décidé de garder ces deux types de mesure pour montrer les interactions entre l'eau et la végétation : courbe E1 et E2 dans la figure 2.2.

II.3 - Les parcelles expérimentales Fa et Fb après leur mise à feu.

Les mesures ont été faites sur chacune des deux parcelles et ensuite nous avons fait la moyenne des deux mesures : Tableau A.2.4. La courbe FM de la figure 2.2 correspond à cette moyenne.

Nous avons constaté qu'une moyenne de 25 % des herbes sur pied avant la mise à feu n'ont pas brûlées ; ceci a dû influencer les mesures (tendance à rehausser les réflectances).

De plus, les mesures ont été faites avec un retard de 2H15mn par rapport à celles de la veille sur les mêmes parcelles non brûlées si bien que la parcelle Feux de brousse/était couverte d'ombre (tendance à baisser les réflectances).

II.4 - Les parcelles Ga et Gb avant leur mise à feu

Ces deux parcelles supportent une strate herbeuse à dominance: "Ctenium elegans"

"Schizachyrium exile"

"Aristida adscensionis"

Date : 6/11/87	N° de feuille/nombre total de feuilles : /
Opérateur : COMPAORE Secrétaire : DU FOUR	Projet ou Stage : Feux de brousse

FICHER
REFLECT. 01

Localisation : Plan d'eau de Koubré Nabmana-guéma (route de Pô à 10 Km de Ouaga)	Canaux : MSS	Température :
Échelle au 1:500.000 :	Nombre de répétitions : 3	Couverture nuageuse :
	Objectifs : 15°	

Zone et (ou) objet mesuré	Heure des mesures	Réflectances R (en %) et écarts-types à n σ_n								Observations
		Canal A		Canal B		Canal C		Canal D		
		R	σ_n	R	σ_n	R	σ_n	R	σ_n	
Eau stagnante sans végétation	12 h 20 mn	10.9		11.9		5.8		2.4		
Eau stagnante avec végétation	12 30	4.9		5.2		10.5		10.8		

Date : 6/11/87.	N° de feuille/nombre total de feuilles : /	FICHIER REFLECT. 01
Opérateur : COMPAORE Secrétaire :	Projet ou Stage : Feux de brousse	

Localisation : Parcelles expérimentales CRTO. Parcelles brûlées.	Canaux : MSS TA	Température :
Feuille au 1/200.000 :	Nombre de répétitions :	Couverture nuageuse :
	Objectifs : 1 15°	

Nom et (ou) objet mesuré	Heure des mesures h mn	Réflectances R (en %) et écarts-types à n σ_n								Observations
		Canal A		Canal B		Canal C		Canal D		
		R	σ_n	R	σ_n	R	σ_n	R	σ_n	
Parcelle Fa		4.3		5.8		7.3		7.9		
Parcelle Fb		4.2		5.6		7.1		7.8		
Moyenne F_{Fa}		4.25		5.7		7.2		7.85		

"Microchloa indica" tous à l'état sec
Et en indice toujours vert "Tephyrosia spp.", Pandiaka
heudelotii, Cassia sp, ...

Chacune des parcelles a 2 m X 2m comme dimensions et
sont séparées l'une de l'autre par un mètre de bande
désherbée.

La densité sur Ga était de 60 % environ, tandis qu'elle
était de 45% sur Gb. Nous avons fait la moyenne des deux
mesures. (Tableau A.25) et tracé la courbe GM correspon-
dante: Figure 2.2.

.../...

Date : 5/11/87	N° de feuille/nombre total de feuilles : /
Opérateur : DUFOR Secrétaire : COMPAORE	Projet ou Stage : Feux de brousse

FICHER REFLECT. D1

Localisation : CRTO Parcelles expérimentales non brûlées	Canaux : MSS TM	Température :
Feuille au 1:50.000 :	Nombre de répétitions :	Couverture nuageuse :
	Objectifs : 1 15°	

Zone et (ou) objet mesuré	Heure des mesures h mn	Réflectances R (en %) et écarts-types à n σ_n								Observations
		Canal A		Canal B		Canal C		Canal D		
		R	σ_n	R	σ_n	R	σ_n	R	σ_n	
Parcelle Ga		10.2		15.0		22.9		25.2		
Parcelle Gb		11.2		16.7		23.7		25.2		
Moyenne $G_{\bar{M}}$		10.7		15.8		23.3		25.2		

A N N E X E 3 : TEST POUR LE CHOIX D'UNE METHODE DE
PLANIMETRAGE ADAPTEE A L'ESTIMATION DES
SURFACES BRULEES

Ce test a consisté à comparer différentes méthodes d'estimations des surfaces brûlées et à choisir la méthode la plus rapide et dont les résultats ne présentent pas beaucoup d'écart par rapport au test témoin.

I - Protocole

Sur la carte Sud-Ouest, un carré de 20 cm X 20 cm c'est-à-dire une zone de 10.000 km² a été choisie au hasard. Cette zone comprenait la plus grande partie de la province de la Bougouriba (partie Sud-Ouest), la partie Nord du Poni, la partie Nord-Est de la Comoé et la partie Sud-Est du Houet.

Sur cette zone, les surfaces brûlées ont été estimées successivement : - une répétition au planimètre polaire à affichage électronique : c'est le planimétrage qui donne les résultats directement en km².

- une répétition à la grille des points 0.5 cm X 0.5 cm.
- Deux répétitions à la grille 1 cm X 1 cm.

II - L'exécution

II.1 - Planimètre polaire

Un planimètre polaire à affichage électronique est un appareil de mesure de surfaces fonctionnant comme un compteur. Il comprend une partie sensible composée de roulettes et un système automatique de comptage et d'affichage électronique des zones planimétrées. Le planimétrage c'est-à-dire le cheminement tout le long des limites d'une zone donnée est possible grâce à l'existence d'un bras fixe (directement relié au système roulettes-compteur) au bout duquel se trouvent une loupe et un point (index circulaire) permettant de faire plus aisément le pourtour des surfaces brûlées.

L'estimation des zones brûlées par cet appareil est considérée dans notre test comme l'épreuve de vérité c'est-à-dire l'épreuve témoin qui nous servira de référence pour nos comparaisons.

Grâce à la mise à l'échelle de 1/500.000e par la composition d'un facteur d'échelle, il est possible d'avoir directement des surfaces brûlées en km².

A l'issue du planimétrage de toutes les zones brûlées, nous avons obtenu les résultats consignés dans le Tableau A.3.2 (1^o ligne).

II.1 - Les grilles

La méthode statistique de planimétrage pour la grille des points est basée sur le caractère aléatoire de l'emplacement des points dans la maille de la grille.

En effet, quelle que soit la maille de la grille, un point peut avoir 36 emplacements différents.

La méthode consiste en fait à estimer par le nombre de points la fréquence des différentes classes d'une unité donnée. Dans le cas de notre étude et dans bien d'autres cas, cette fréquence est convertie en unités de surface par une règle de 3

En pratique on superpose au hasard la grille à la subdivision (Province) dont l'aire des classes doit être estimée statistiquement en évitant d'introduire un biais c'est-à-dire en évitant de faire en sorte qu'il y ait plus de points dans telle classe plutôt que dans telle autre. On immobilise la grille sur la carte (elle-même préalablement immobilisée) par des adhésifs afin d'éviter que les conditions d'estimation changent pendant le décompte des points. Après toutes ces précautions on procède au décompte des points disposés aléatoirement sur l'unité soit manuellement soit à l'aide d'un compteur : on comptera un point pour une classe qui renfermerait dans ses limites la totalité du petit cercle contenant le point, et on comptera 1/2 point pour une classe dont le petit cercle serait à cheval sur sa limite ou toucherait extérieurement à sa limite.

Après avoir parcouru carré par carré et ligne par ligne la partie de la grille recouvrant la province d'intérêt, on fait le total des points pour chaque classe : dans notre cas, on distingue au niveau des classes les différentes zones brûlées de différentes périodes (1 à 31) et les zones non brûlées :

Tableau A.3.1.

Tableau A.3.1 - Nombre de points obtenus par octave par les différentes grilles

Périodes Grilles	2	7	8	9	ZNB	TOTAL
Grille 0.5 X 0.5	1.5	28	374	241	932	1576.5
Grille 1 X 1 (a)	2	9	109	62.5	233	415.5
Grille 1 X 1 (b)	0	9	106.5	70	233	416.5
Grille 1 X 1:moyenne	1	9	107.75	66.25	233	417

Tableau A.3.2 - Estimation des surfaces brûlées par les différentes méthodes (en km²)

	2	7	8	9	TOTAL
Planimètre polaire	4	199	2308	1397	3908
Grille 0.5 X 0.5	9.5	177.6	2372.3	1528.7	4088
Grille 1 X 1 (a)	48.1	216.6	2623.3	1504.2	4392
Grille 1 X 1 (b)	0	215	2544.8	1672.6	4432
Grille 1 X 1:moyenne	24.05	215.8	2584.0	1588.4	4412

Pour connaître l'aire S_i d'une classe donnée, il suffit de rapporter le total des points n_i de cette classe au nombre total des points N de toutes les classes et de le multiplier par la surface totale S de la province.

$$s_i = \frac{n_i}{N} \times S$$

Dans la pratique on cherche d'abord la valeur de V_p du point c'est-à-dire qu'on fait le rapport entre la surface S de la province et le nombre total des points N :

$V_p = \frac{S}{N}$ et ensuite on obtient les surfaces S_i des différentes classes (Périodes) en multipliant le nombre de points n_i de chaque période par la constante V_p :

$$S_i = V_p \times n_i.$$

Il existe pour une grille de maille déterminée et à une échelle donnée une valeur théorique du point V_{pt} :

Pour la grille 0.5 X 0.5 la V_{pt} est de 6.25 km² au 1/500.000e.

Pour la grille 1 X 1 la V_{pt} est de 25 km² au 1/500.000e soit quatre fois plus que précédemment.

Cette V_{pt} ne saurait garder la même valeur pour tous les essais d'estimations sur une zone de même surface S car l'aspect aléatoire de la superposition de la grille sur la zone de surface fait correspondre des nombres N_i de points donc de V_{pi} différents (V_{pi} pouvant être supérieur, égale ou inférieur à V_{pt}).

Aussi on est obligé pour chaque condition (emplacement de la grille) d'estimation des surfaces de calculer la V_p correspondante.

Pour le test devant nous guider à choisir la grille qui s'adapte au mieux de par sa précision et de par sa rapidité d'utilisation; nous avons retenu les grilles 0.5 cm X 0.5 cm 1 cm X 1 cm. La précision voulue est d'environ 5 % et vraisemblablement la grille 1 cm X 1 cm s'avère la plus rapide compte tenu du fait qu'elle donne pour une même surface S moins de points à décompter que celle 0.5 cm X 0.5 cm.

Le décompte, les totaux et les conversions faits, nous ont donné les résultats du Tableau 2.4 (2^e partie - Chapitre I

La conclusion a déjà été faite en chapitre III ; II de la 2^e partie.

B I B L I O G R A P H I E

1. Abbés T. Salou, B. ZONGO, et G. ILBOUDO : "Mon pays, la Haute-Volta" - Cours de Géographie, Classe de 3e-Fascicule -33p.
2. A.B.Francis, A.D. Simon, A.M. Clabekem, M. Vergeau, 1982 : "Classification et suivi diachronique des feux de brousse par imagerie LANDSAT : Bobo-Dioulasso (Haute-volta)" - Rapport.
3. American Society of Photogrammetry, 1975 : "Manual of Remote Sensing" - Vol. I - First Edition.
4. Ch. Cazabat, 1969 : "L'interprétation des photographies aériennes" - Extrait du Bulletin d'Information IGN N° 8 (Juil. 1969) - 31 P.
5. C. Letourneux, 1957 : "Le problème des feux au Soudan Français" Revue B.T.F.T. N° 52.
6. C.M. et M.C. Girard, 1975 : "Application de la Télédétection à l'étude de la Biosphère".
7. C.T.F.T., 1972 : "Note sur les feux de brousse " (Rép. du Niger) Fascicule - 9 p.
8. E.G.V. Voorthuizen. 1977 : "Grass burning practices in Africa ". Fascicule - 6 p.
9. F.F. Sabins, 1978 : "Remote Sensing : principles and interpretation".
10. F.H. Moffitt and E.M. Mikhail, 1980 : "Photogrammetry" - Third Edition.
11. F.L. TRADRE, 1986 : "Suivi des feux de brousse à partir des images satellites (Région Centre-Ouest - B.F.) - Rapport de stage.
12. F.W.T. Penning de Vries et M.A. Djitéye : "La productivité des pâturages sahéliens : une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle".
13. G. de La Mensbrughe, 1961 : "La lutte contre les feux-parcelles d'essai- Restauration forestière" - Fascicule 24 p.
14. H. Bonneval, 1972 : "Photogrammétrie générale" - Tome 1.

15. J.A. COMPAORE, 1987 : "Cartographie à l'échelle du 1/500.000e des feux de brousse au cours de la saison sèche 1986-87 à partir des images LANDSAT 4 et 5" - Prémémoire de fin de Cycle - Fascicule 13 p.
17. J. PARNOT : "Cycle d'initiation à la télédétection" - Fascicule 11 p.
18. J. PARNOT : "Suivi diachronique des feux de brousse à l'aide des Epreuves-Minutes LANDSAT" - 6 p.
19. K.S. Vincent, 1983 : "Contribution à l'étude des feux de brousse dans le Centre-Sud de la Haute-volta". Mémoire de fin d'Etudes.
20. K. Tinkoudjou, 1980 : "Historique des feux de brousse" - Rapport 14 p.
21. Lillesand/Kiefer, 1979 : "Remote Sensing and image interpretation".
22. Ministère de l'Environnement et du Tourisme, 1987 : "Rapport national de synthèse des conférences provinciales sur les feux de brousse" - fascicule - 30 p.
23. M. Yereau, 1983 : "Synthèse des rapports du projet Télédétection : Afrique de l'Ouest CRDI, 3-P-80-0093".
24. M. Yergeau, 1983 : "Télédétection, feu de brousse et dynamique de la végétation après feu - Volta rouge - Haute-volta" - Fascicule 16 p.
25. N.A. Sow, 1981 (ITC) : "Range Inventory and Evaluation for Domestic Livestock and Wildlife : A case - study in Mali, around Dyoumara (Kaarta)".
26. R. CUENIN, 1972 : "Cartographie générale" - Tome I -
27. R.M. Hoffer, 1976 : "Spectral reflectance characteristics of vegetation" - Minicourse study Guide - 10 p.
28. S. Guinko, 1985 : "La végétation et la flore du Burkina Faso".
29. W. Halhadji, 1987 : "Bases physiques de la Télédétection" - fascicule - 52 p.

30. Y.Y. Mohamed and M.F.E. Idris : "Application of LANDSAT for determination of land resources and desertification monitoring" Report.